



评 述 中国综合地层和时间框架专辑

中国侏罗纪综合地层和时间框架

黄迪颖*

现代古生物学和地层学国家重点实验室, 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心, 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008
* E-mail: dyhuang@nigpas.ac.cn

收稿日期: 2017-12-18; 收修改稿日期: 2018-05-22; 接受日期: 2018-08-13; 网络版发表日期: 2018-10-19
国家重点研发计划深地资源勘查开采重点专项项目(编号: 2016YFC0600406)、中国科学院战略性先导科技专项B类项目(编号: XDB18000000和XDB26000000)和国家自然科学基金项目(批准号: 41688103)资助

摘要 中国侏罗系以陆相沉积为主, 青藏地区、华南南部、东北局部发育了海相和海陆交互相沉积. 陆相侏罗系地层划分分歧较大, 生物地层学和同位素年代学结论很不一致. 侏罗纪时期华北板块、华南板块、塔里木板块已拼接, 形成古中国大陆的雏形. 燕山运动对中国东部及北方地区产生深远影响, 形成重要的区域性不整合面. 三叠-侏罗系界线(201.3Ma)在中国大致位于准噶尔盆地郝家沟组和八道湾组之间, 四川盆地须家河组和自流井组之间. 古大别山以北的中国东部及中部地区普遍缺乏早侏罗世早期沉积, 暗示三叠纪晚期中国东部存在明显的隆升, 形成广阔的山地及高原. 早侏罗世中晚期华北北缘发育了一套磨拉石-火山岩-煤系地层, 在京西盆地以杏石口组-南大岭组-窑坡组为代表. 永丰阶和硫磺沟阶界线的时代和标志不清. 大约在170Ma燕山运动开始影响中国, 170~135Ma中国构造体制由近东西向的特提斯构造域或古亚洲洋构造域向北北东向的滨太平洋构造域转变. 中侏罗世中期燕山运动(A1幕)以海房沟组或龙门组底部的一套同造山砾岩为代表, 在燕辽地区形成了另一套磨拉石-火山岩-煤系地层, 其底面大致相当于石河子阶的底界. 玛纳斯阶的底界为中国北方一个区域性不整合面(约161Ma, 燕山运动火山幕, A2幕). 侏罗纪的燕山运动很可能与西伯利亚板块向南俯冲造成蒙古-鄂霍茨克洋关闭有关. 约在161~153Ma发生了髫髻山期大规模火山活动. 153Ma约为土城子组的底界, 中国侏罗系陆相第5阶的底界应稍早于此, 以头屯河组顶部的升温事件及生物组合的改变为标志, 估计为155Ma. 中国陆相侏罗-白垩系界线(约145.0Ma)在燕辽地区应位于土城子组一段的上部, 在鄂尔多斯盆地位于安定组上部, 准噶尔盆地位于齐古组上部, 四川盆地位于遂宁组上部. 中国陆相侏罗系整体特征是由早中侏罗世温暖湿润的成煤环境向晚侏罗世后期炎热干旱的红层转变. 伴随*Coniopteris-Phoenicopsis*植物群的产生和发展在中侏罗世发育了燕辽生物群, 广布于中国古昆仑山-古秦岭-古大别山以北地区, 在晚侏罗世早期达到鼎盛, 并随着干热气候的到来而逐渐消亡并南迁.

关键词 陆相侏罗系, 生物地层学, 同位素年代学, 年代框架, 燕山运动, 燕辽生物群

1 概述

经历三叠纪印支运动后中朝板块和华南板块碰撞拼接, 连同塔里木陆块构成了古中国大陆的雏形(图1). 中国主要地区在侏罗纪结束了小板块的漂移、碰撞、拼接时期, 进入陆内构造变形阶段.

中文引用格式: 黄迪颖. 2019. 中国侏罗纪综合地层和时间框架. 中国科学: 地球科学, 49: 227–256, doi: 10.1360/N072017-00443
英文引用格式: Huang D Y. 2019. Jurassic integrative stratigraphy and timescale of China. Science China Earth Sciences, 62: 223–255, https://doi.org/10.1007/s11430-017-9268-7

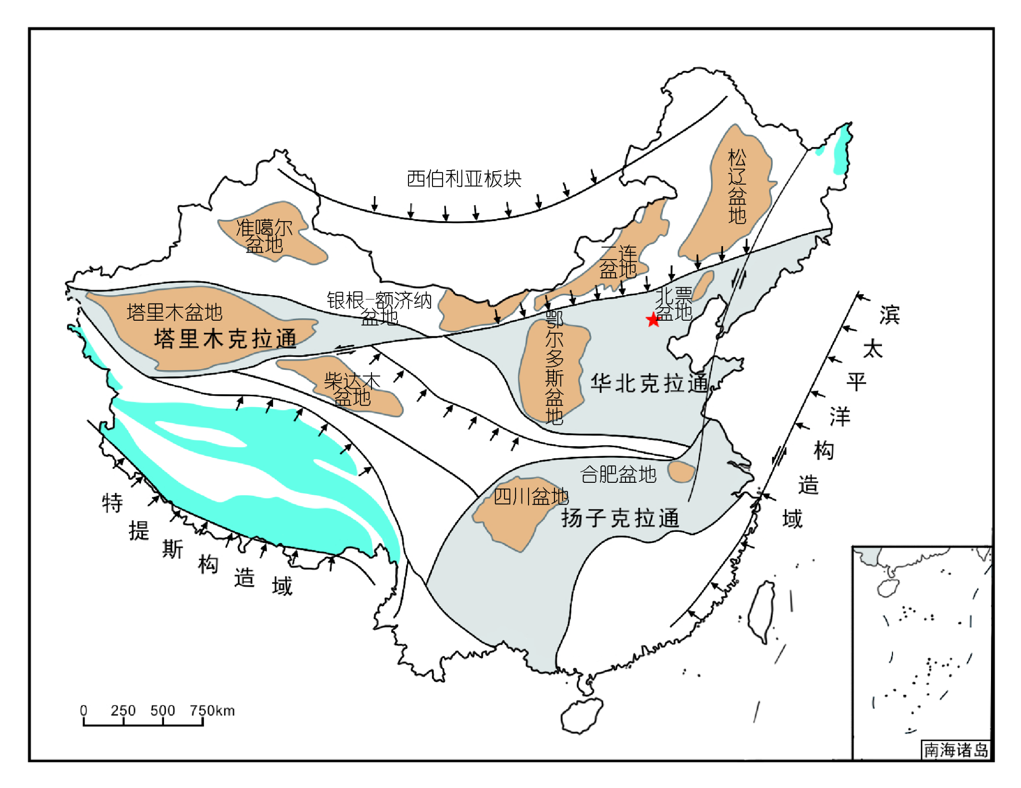


图 1 中国侏罗系沉积和构造总体特征

棕黄色部分代表侏罗纪主要陆相盆地, 蓝色部分代表侏罗纪海相地层

中国的侏罗系以陆相沉积为主, 广泛发育在东部古华北地台和扬子地台之上, 还包括诸多大型内陆盆地如鄂尔多斯盆地、柴达木盆地、塔里木盆地、准噶尔盆地、四川盆地、滇中盆地等. 在青藏地区、华南南部和黑龙江东部则存在海相或海陆交互相地层(图1).

中国陆相侏罗系发育重要的煤系地层及金属、非金属矿产, 有重要的经济意义(邓晋福等, 2007), 特别是煤炭资源占全国储量的近2/3(王思恩等, 1994). 侏罗系陆相地层发育了诸多重要的特异埋藏化石层, 以燕辽生物群为代表, 为中生代生物演化提供了重要资料(黄迪颖, 2016). 受侏罗纪中期燕山运动的影响, 中国发育了诸多北北东向的山间盆地. 因而燕山运动的本质被一些学者认为是东西向的特提斯构造域或古亚洲洋构造域向北北东向的滨太平洋构造域的转换(赵越, 1990). 这些盆地地层往往岩性差别很大, 古生物化石难以对比, 且普遍缺乏可靠的同位素年龄, 因而侏罗系陆相盆地地层对比历来分歧很大. 具体表现在不同门类古生物化石得出的生物地层结论不一致, 而同位素年代学和生物地层学年代存在重大分歧(王思恩等, 2013; 黄迪颖, 2015). 造成以上问题的重要原因在于陆相生物的分布和演化具有区域性特征, 难以和欧洲海相阶的标准化石进行对比. 而同位素年代学前期研究技术手段存在不足因而结果不够精准, 除燕辽地区外普遍缺乏系统的侏罗纪同位素年代学资料.

中国中生代生物地层研究起步较早, 如叶良辅(1920)首次建立了中国区域地层框架, 其中很多概念沿用至今. 葛利普建立热河系、并创立热河生物群, 归入早白垩世(Grabau, 1923, 1928). 热河生物群的年代问题在20世纪晚期争议很大. 随着中国中生代陆相地层研究的长足进展, 特别是精确同位素年代学研究的重要突破, 目前学者普遍接受热河生物群富含孔子鸟的特异埋藏化石层的绝对年龄约为125Ma. 相对于很多传统观点, 中国陆相白垩系年代趋新的事实给侏罗系生物地层学研究提出了挑战. 另外, 国际地层表对侏罗-白垩系的界线的限定发生了重大转变, 由135Ma(Remane, 2000)变更为145Ma(Cohen等, 2013), 造成侏罗纪中晚期生物地层学的混乱.

本文对中国侏罗系陆相地层进行重新分析与对比, 以区域构造运动为框架, 生物地层学为基础, 同位素年代学为定量根据, 希望为中国侏罗纪地层综合划分对比及时间框架提供更理想的方案. 中国侏罗系磁性地层学和化学地层学的工作目前尚不系统, 本文不作介绍.

2 中国侏罗系研究简史

侏罗系分为3统11阶, 自下而上依次为下侏罗统赫塘阶(Hettangian)、辛涅缪尔阶(Sinemurian)、普林斯巴阶(Pliensbachian)、托阿尔阶(Toarcian), 中侏罗统阿林阶(Aalenian)、巴柔阶(Bajocian)、巴通阶(Bathonian)、卡洛夫阶(Collovian), 上侏罗统牛津阶(Oxfordian)、钦莫利阶(Kimmeridgian)、提塘阶(Tithonian). 侏罗系各阶底界的确定主要依据特定菊石带的首现. 其中靠下的7个阶底界的界线层型剖面和点位(GSSP)已得到国际地层委员会的确认. 三叠-侏罗系的界线位于(201.3±0.2)Ma, 侏罗-白垩系的界线大约位于145Ma (樊隽轩等, 2016). 西北太平洋Shatsky Rise的下白垩统第一阶Berriasian底部玄武岩Ar-Ar年龄为(144.6±0.8) Ma, 是最具参考意义的侏罗-白垩系界线年龄(Mahoney等, 2005).

中国的侏罗系研究始于19世纪末. Wong(1927)根据北京西山侏罗纪地质现象正式提出燕山运动的概念, 至今仍是中国地质学界最热点的研究方向之一. 1949年以前, 前辈地质学家对中国侏罗系进行了一系列开拓性的研究, 如王竹泉对北方侏罗纪煤田的研究, 李四光、黄汲清、李春昱、杨钟健、斯行健对鄂西、四川盆地侏罗系的研究等(王思恩, 1985b). 新中国成立后, 中国学者对侏罗纪地层进行了系统研究与集成作业, 并完成了一些有影响力的综述, 如《中国的侏罗系和白垩系》(顾知微, 1962)、《中国中生代陆相地层》(斯行健和周志炎, 1962)、《中国的侏罗系》(王思恩, 1985b)等, 特别是《中国北方侏罗系》系列专著对中国主要地区的侏罗系进行了系统总结.

近年来中国侏罗系研究得到重要发展, 如第八届国际侏罗纪大会在四川射洪成功召开, 以及一系列侏罗系国际地质对比计划(IGCP)的实施为一些关键科学问题提供了解决方案. 另外, 中国侏罗纪特异埋藏生物群的研究成为了解中生代中期陆相生态系统演化的关键.

3 中国陆相侏罗系地层框架

全国地层委员会关于中国主要断代地层建阶工作以新疆准噶尔盆地郝家沟剖面和红沟剖面为陆相下中侏罗统年代地层层型候选剖面, 自下而上分为4个阶: 下侏罗统八道湾阶、三工河阶, 中侏罗统西山窑阶、头屯河阶; 以燕辽地区为基础建立上侏罗统2个阶, 即辽西北票金岭寺-羊山盆地上侏罗统土城子阶, 冀北滦平盆地上侏罗统大北沟阶(姜宝玉等, 2008a, 2008b, 2008c, 2008d; 王思恩和季强, 2008). 根据目前的国际年代地层表及近年来大量地质工作可知大北沟阶属于下白垩统, 因而不在本文讨论范围之内. 国际地层委员会规定阶和组不能同名. 根据全国地层委员会《中国地层表》编委会(2014)的意见, 中国侏罗系年代地层下侏罗统为永丰阶(对应八道湾组, 原八道湾阶)和硫磺沟阶(对应三工河组, 原三工河阶), 中侏罗统为石河子阶(对应西山窑组, 原西山窑阶)和玛纳斯阶(对应头屯河组, 原头屯河阶), 上侏罗统未建阶(在中国北方对应土城子组, 在中国南方对应遂宁组和蓬莱镇组, 原土城子阶).

新疆准噶尔盆地侏罗系地层十分发育, 在盆地东缘和西缘受构造运动影响较强烈, 南缘地层基本连续, 更接近沉积中心, 较少受到构造运动影响. 上世纪末准噶尔盆地侏罗系3统6组的划分方案已定型(卢辉楠, 1995). 全国地层委员会以乌鲁木齐郝家沟剖面和沙湾县红沟剖面为陆相中下侏罗统年代地层层型候选剖面开展了建阶研究(姜宝玉等, 2008a, 2008b, 2008c, 2008d).

本文认为在准噶尔盆地三叠-侏罗系界线大致位于郝家沟组和八道湾组之间, 侏罗-白垩系界线位于齐古组上部. 郝家沟剖面和红沟剖面侏罗系由下至上分为5个组, 依次为: 八道湾组, 在标准剖面郝家沟组底部为砾岩、含砾粗砂岩夹炭质泥岩, 与上三叠统郝家沟组整合接触, 分为下含煤段、中泥岩段、上含煤段; 三工河组在建组剖面阜康县三工河剖面由4~5套巨厚的灰黄绿色块状砂岩夹砾岩组成, 并夹粉砂岩、泥岩、炭质页岩和煤线; 西山窑组创建于乌鲁木齐西山煤矿, 是新疆主含煤地层, 由砂岩、粉砂岩、含砾砂岩互层夹炭质泥岩、煤层、菱铁矿; 头屯河组建于乌鲁木齐西南头屯河剖面, 为一套杂色砂砾岩、砂岩、泥岩交互地层, 中部夹泥灰岩、炭质泥岩或煤线; 齐

古组, 是头屯河组杂色层之上, 喀拉扎组砂砾岩之下的一套红层, 夹少量凝灰岩(邓胜徽等, 2010).

3.1 永丰阶

永丰阶对应的八道湾组, 其底部相当于三叠-侏罗系界线或十分接近界线(邓胜徽等, 2003; 卢远征和邓胜徽, 2005; Sha等, 2011, 2015). 永丰阶至少相当于赫塘阶和辛涅缪尔阶(邓胜徽等, 2003; Sha等, 2016), 其上部也可能包含部分的普林斯巴阶. 永丰阶地层在全国大部分地区缺失, 在准噶尔盆地、柴达木盆地、四川盆地等发育. 建阶剖面八道湾组生物组合特征如下(姜宝玉等, 2008d; 邓胜徽等, 2010): 双壳类和叶肢介主要分布在中上部. 双壳类*Ferganoconcha*和*Waagenoperna*较为丰富, 含少量*Kija*, *Margaritifera*, *Unio*, *Cuneopsis*, *Sibireconcha*. 叶肢介属于*Palaeolimnadia baitianbaensis*群. 植物分为上下两个组合, 下部植物组合出现了早侏罗世重要分子*Todites princeps*和很多侏罗纪繁盛的类型, 如*Ginkgoites*, *Baiera*, *Sphenobaiera*和*Czekanowskia*, 但没有出现*Coniopteris*, 代表了早侏罗世早期组合. 上部组合以*Coniopteris*和*Cladophlebis*的繁盛为特征, 代表了早侏罗世中期的特征. 孢粉为*Osmundacidites-Cerebropollenites-Protoconiferus*组合(邓胜徽等, 2003).

永丰阶的火山岩并不发育, 同位素年代学研究较少. 准噶尔盆地西北缘克拉玛依地区发育早侏罗世玄武岩, 呈夹层状产出于八道湾组下部, 与底部的砂岩整合接触并有烘烤现象, 其Ar-Ar年龄为(192.7±1.3) Ma, 为辛涅缪尔阶的上部(徐新等, 2008). 因而, 八道湾组上部应可延至普林斯巴阶.

3.2 硫磺沟阶

由于缺乏可靠的生物地层研究资料和同位素定年证据, 硫磺沟阶和永丰阶界线的年代很难精确厘定. 硫磺沟阶相当于托阿尔阶、阿林阶、并可能包含巴柔阶, 下部还包含部分普林斯巴阶. 建阶剖面三工河组生物组合特征如下(姜宝玉等, 2008c; 邓胜徽等, 2010): 双壳类组合中*Kija*增多, *Ferganoconcha*衰退, 含*Kija*, *Ferganoconcha*, *Margaritifera*, *Unio*, *Pseudocardinia*, *Tutuella rotunda*等, *Waagenoperna*消失. 叶肢介组合以*Palaeolimnadia*为主, 包括*P. grandis*, *P. chuanbeiensis*, *P. baitianbaensis*等. 植物以蕨类、楔叶、银杏类为主, *Coniopteris*较常见, 如*Coniopteris hymenophylloides*. 上部产*Equisetites*及多类*Coniopteris*, 下部产*Cladophlebis* sp., *Coniopteris* sp., *Todites denticulatus*, *Desmiophyllum* sp., *Czekanowskia pumila*, *Gleichenites nitida*, *Phoenicopsis angustifolia*, *Podozamites* sp.等. 孢粉组合为*Deltoidospora-Classopollis-Piceites*, 和五当沟组、北票组孢粉组合接近. 硫磺沟阶在中国东部发育侏罗纪重要含煤地层, 如北票组、窑坡组、大同组等都相当于硫磺沟阶的上部, 大致属于中侏罗世早期.

辽西北票组、京西窑坡组均未发表可靠的同位素年龄, 一般认为属于早侏罗世晚期沉积, 其上部有学者认为属于中侏罗世. Yang等(2006)认为上窑坡组最年轻的一颗碎屑锆石(145±2)Ma代表其年龄, 显然不妥, 而次新的4颗锆石(174±2)Ma可大致代表窑坡组的时代. 这套煤系地层下伏的辽西兴隆沟组、京西南大岭组为火山岩, 偶含沉积岩夹层, 地质年代存在争议. 兴隆沟组主要存在4组同位素年龄: 202Ma左右(邵济安和杨蔚, 2011); 188~190Ma左右(陈义贤和陈文寄, 1997); 177Ma左右(Yang和Li, 2008); 159Ma左右(Gao等, 2004). 159Ma的绝对年龄被认为是贯穿兴隆沟组火山-沉积地层的霏细斑岩脉的年龄(邵济安和杨蔚, 2008). 202Ma左右的年龄为三叠纪末期, 很难得到其他证据的支持. 京西南大岭组可与辽西兴隆沟组对比, 最初被当做门头沟煤系的辉绿岩侵入体(叶良辅, 1920). 南大岭组下部为玄武岩, 在部分地区上部发育安山岩及凝灰岩夹层. 其玄武岩中锆石分析曾得到190Ma的年龄峰值, 被认为与早侏罗世陆内构造-岩浆活动有关, 而其中(174±8)Ma则代表南大岭组的实际年龄(赵越等, 2006). 京西南大岭组上部安山岩夹层(即蔡家岭组)中的植物化石和窑坡组并无区别(陈芬等, 1984). 承德上谷南大岭组凝灰岩夹层发现了一些植物化石, 认为属于早侏罗世(孙跃武等, 1996). 该地层还发现了叶肢介化石*Palaeolimnadia*, 也属于早侏罗世(米家榕等, 1993). 南大岭组玄武岩和安山岩属于双峰式火山岩, 二者喷发时间接近(汪洋等, 1995). 因此, (174±8)Ma的绝对年龄大致代表了南大岭组的时代, 而(176.7±3.5)Ma的锆石U-Pb年龄代表了兴隆沟组的时代. 另外, 有作者对原归入兴隆沟组的火山岩进行锆石U-Pb定年, 得到(173.4±3.1)Ma的年龄, 认为属于海房沟组(马强, 2013). 由本文分析可见此火山岩仍属兴隆沟组.

京西杏石口组通常厚度不超过80m, 最初认为属于侏罗系, 其植物化石反映了门头沟植物群的面貌(杨杰, 1957; 陈芬等, 1984), 但也有作者认为其植物化石显示出晚三叠世特征(米家榕等, 1984). 杏石口组的古鳕化石类似上三叠统延长组的类型, 但更接近中侏罗统召沟组的大青山鳕, 因而杏石口组可能属于早侏罗世(刘宪亭, 1988). 召沟组相当于海房沟组, 大青山鳕发现于召沟组顶部, 可能已进入晚侏罗世, 而相近时代的髫髻山组玲珑塔化石层盛产古鳕, 为生物群的代表类型(黄迪颖, 2015). 因此, 从古鳕化石看杏石口组的时代为早侏罗世的可能性很大. Yang等(2006)分析出京西杏石口组(205±1)Ma的最年轻碎屑锆石组, 证明杏石口组的形成时代可能晚于三叠纪. 这期岩浆锆石是燕辽地区中晚侏罗世地层中常见的继承锆石, 代表了一次重要的岩浆活动, 和承德地区王土房杂岩体中的早期花岗岩年龄一致, 代表了华北北缘在晚三叠世-早侏罗世的快速抬升(刘健等, 2007; Liu J等, 2012). 一些作者在承德下板城盆地的杏石口组获得最年轻的碎屑锆石年龄(197±6)Ma, 也佐证了杏石口组为侏罗纪地层(刘健等, 2007; Liu J等, 2012). 辽西兴隆沟组之下的一套碎屑岩地层(原称石门沟组、坤头波罗组)目前称为羊草沟组, 时代被认为属于晚三叠世或晚三叠世-早侏罗世(米家榕等, 1993; 辽宁省地质矿产勘察开发局, 1997), 它与杏石口组的对比关系仍需进一步研究.

正确认识南大岭组和兴隆沟组火山岩, 可发现其时代大约位于中下侏罗统界线附近, 而并非早侏罗世早期地层. 下伏的杏石口组也应是早侏罗世中晚期沉积. 因此, 燕辽地区缺失早侏罗世早期沉积(图2). 窑坡组和北票组的时代受南大岭组和兴隆沟组火山岩的制约. 一些作者通过植物群面貌分析认为窑坡组和北票组属于中侏罗世(徐仁, 1979; 段淑英, 1989), 目前可以得到下伏火山岩同位素年龄的支持. 这套火山岩在早-中侏罗世界线(174.1±1.0)Ma附近喷发多次, 局部并不等时, 一些地区窑坡组和北票组的底部可能为早侏罗世晚期.

京西盆地杏石口组-南大岭组-窑坡组、北票盆地羊草沟组(?)-兴隆沟组-北票组、晋西北地区永定庄组-大同组大致相当于硫磺沟阶的范畴. 它们的底部为一套河流相磨拉石, 和三工河组底部砾石的关系尚不清楚, 但其中的火山岩时代对限定硫磺沟阶的底界仍具有重要的参考意义.

3.3　石河子阶

石河子阶相当于巴通阶、卡洛夫阶及牛津阶下部. 建阶剖面西山窑组生物组合特征如下(姜宝玉等, 2008b; 邓胜徽等, 2010): 双壳类*Kija*繁盛, 包括*Kija kweichouensis*, *K. ovalis*, *Ferganoconcha sibirica*, *Unio zhunggarica*, *Pseudocardinia baichengensis*, *Sibireconcha*等. 这一组合还见于延安组、龙门组、海房沟组、洪琴组、渔山尖组、漳平组等. 其中*F. sibirica*是龙门组(即冀北"九龙山组")和海房沟组双壳类的重要分子, 也是道虎沟生物群唯一发现的双壳类. 常见叶肢介*Triglypta ziliujingensis*和*T. complanata*, 属于自流井三饰叶肢介群的下组合(Liao等, 2017), 相当于窑街组、延安组、大煤沟组上部、海房沟组、龙门组、杨树庄组、安徽"含山组"等. 植物以真蕨类为主, 其次为银杏类和松柏类. 真蕨类*Cladophlebis*最繁盛, *Coniopteris*大量出现, 包括*Coniopteris hymenophylloides*等代表类型, 属*Coniopteris*-*Phoenicopsis*植物群繁盛期. 孢粉为*Cyathidites*-*Neoraistrickia*-*Piceaepollenites*组合.

石河子阶是重要聚煤期, 西山窑组和延安组是中国最重要的含煤地层(王思恩等, 1994), 在东部也发育含煤沉积如义马组、坊子组、海房沟组、龙门组等. 可见中国侏罗纪主要储煤层在东部和西部并不完全对应, 西部(如准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地)和华北中部的主煤层发育于石河子阶, 而华北北部的主煤层发育于硫磺沟阶上部. 硫磺沟阶至石河子阶中国东部高山和高原逐步剥蚀夷平, 南缘(如钟山组)和北缘(如北票组、窑坡组)均开始发育煤系地层. 石河子阶华北中部成煤盆地发育, 而华北北缘再次抬升, 新的盆岭系统多为小型断陷盆地, 不具备大规模成煤条件.

由于缺乏大规模的火山活动, 石河子阶的同位素年代学开展有限, 但在华北北缘及东北地区则存在明确的火山岩地层, 主要为安山岩、流纹岩和凝灰岩, 如海房沟组、龙门组、万宝组等. 海房沟组同位素年代学研究虽然较少, 但对厘定石河子阶顶底界年代提供了重要证据. 北票海房沟组下部凝灰岩得到Ar-Ar年龄为(166.7±1.0)Ma(Chang等, 2014), 道虎沟化石层凝灰岩得到锆石U-Pb年龄(165.0±1.2)Ma(Yang和Li, 2008), 凌源热水汤化石层下部火山岩锆石U-Pb年龄(164±4)Ma(柳永清等, 2006). 近期, 我们测得北票海房沟组底部同造山砾岩中的凝灰岩夹层锆石U-Pb年龄

地层系统 | 北票盆地 | 京西盆地 | 鄂尔多斯盆地 | 准格尔盆地 | 四川盆地 | 宁镇山脉 | 燕山运动

130.0 (Ma) 135.0 140.0 145.0 150.0 155.0 160.0 165.0 170.0 175.0 180.0 185.0 190.0 195.0 201.3 205.0 210.0 215.0

白垩系 下白垩统 欧特里夫阶 瓦兰吟阶 贝里阿斯阶
侏罗系 上侏罗统 提塘阶 钦莫利阶 牛津阶
中侏罗统 卡洛夫阶 巴通阶 巴柔阶 阿林阶
下侏罗统 托阿尔阶 普林斯巴阶 新涅缪尔阶 赫塘阶
三叠系 上三叠统 瑞替阶 诺利阶

北票盆地：义县组 土城子组 髫髻山组 海房沟组 北票组 兴隆沟组 羊草沟组？
京西盆地：张家口组 土城子组 髫髻山组 龙门组 窑坡组 南大岭组 杏石口组
鄂尔多斯盆地：宜君组 芬芳河组 安定组 直罗组 延安组 富县组 延长组
准格尔盆地：清水河组 喀拉扎组 齐古组 头屯河组 西山窑组 三工河组 八道湾组 郝家沟组
四川盆地：苍溪组 蓬莱镇组 遂宁组 上沙溪庙组 下沙溪庙组 新田沟组 自流井组 须家河组
宁镇山脉：西横山组 北象山组 钟山组 范家塘组

燕山运动：主动幕（B幕） 侏罗-白垩界线 火山幕（A_2幕） 绪动幕（A_1幕）

凝灰岩 火山岩 砂岩 粉砂岩 页岩 煤层 砾岩 不整合接触 假整合接触 整合接触 地层缺失

图 2 中国侏罗系代表性陆相盆地地层对比

(167.1±0.9)Ma及近顶部凝灰质角砾岩锆石U-Pb年龄(161.7±1.9)Ma. 因此, 基本可将海房沟组限定在168~161Ma. 另外, 黑龙江西部大兴安岭地区龙江盆地万宝组主要由砂砾岩、火山碎屑岩夹煤层组成, 其凝灰岩中分别得到锆石U-Pb年龄(165.2±1.7)和(162.1±1.6)Ma, 和海房沟组时代吻合(张渝金等, 2018). 由于海房沟组和西山窑组生物地层的可比性, 目前可用海房沟组的顶底年龄大致限定石河子阶的时代.

3.4　玛纳斯阶

玛纳斯阶相当牛津阶中上部及钦莫利阶下部. 建阶剖面头屯河组生物组合特征如下(姜宝玉等, 2008a; 邓胜徽等, 2010): 双壳类*Psilunio*大量出现, *Kija*衰退, 出现*Psilunio jingyuanensis*, *P. ovalis*, *Cuneopsis sichuanensis*等晚侏罗世早期常见分子, 仍见*Ferganoconcha*, 这个组合还出现在王家山组、下沙溪庙组和上沙溪庙组、马凹组、石梯组上部等. 叶肢介仍属自流井三饰叶肢介群, 包括*Triglypta manasica*, *T. tianshanensis*, *T. ziliujingensis*, *Qaidamestheria shanshanensis*; 介形虫为*Darwinula sarytirmenensis-D. magna-Timiriasevia*组合; 腹足类为*Viviparus qiketaiensis-Amplovalvata suturalis*组合; 植物以*Coniopteris simplex*为主, 为*Coniopteris-Phoenicopsis*植物群的衰退阶段; 孢粉组合为*Cyathidites-Concavissimisporites-Classopollis*; 轮藻组合为*Aclistochara abshirica-A. stellerides-A. nuguishanensis*.

头屯河组的同位素年代学研究十分有限, 有作者分析了准噶尔盆地的中生代碎屑锆石, 认为其中最年轻锆石来自头屯河组, 为(150±4)Ma, 且出现了162Ma的峰值年龄, 代表了燕山运动对准噶尔盆地的影响(杨甫等, 2013). 近年来有作者测得头屯河组下部地层159Ma的锆石U-Pb年龄, 并推算头屯河组的底部时代晚于161.2Ma(Fang等, 2015). 准噶尔盆地头屯河组与燕辽地区髫髻山组在生物地层学和同位素年代学上均具有很高的可比性.

目前发表的髫髻山组的同位素年龄跨度极大, 从127Ma到188Ma左右(汪洋等, 2001; 张宏等, 2008a). 由于常含海房沟期捕获锆石, 髫髻山组的锆石U-Pb年龄经常偏老(刘健等, 2006), 海房沟期火山活动被普遍忽视(黄迪颖, 2015). 本文不对髫髻山组同位素年龄进行一一分析, 其中的分歧多来自地层识别的偏差及测年的方法学. 髫髻山组和上覆土城子组的界线约在153Ma(刘健等, 2006), 后文将详细介绍. 近年来大量同位素年代学研究证明髫髻山组底部的火山岩年龄约在160~161Ma(Davis等, 2001; He等, 2004; Chang等, 2009; Liu Y等, 2012), 髫髻山组凝灰岩夹层CA-ID-TIMS定年揭示其含略年轻于161Ma的锆石(Chu等, 2016). 因此, 髫髻山组沉积的年龄大约为161~153Ma. 有作者提出髫髻山组火山岩是穿时的, 不同区域喷发时限存在明显差异, 如浑源盆地髫髻山组底部的绝对年龄为(152.77±0.63)Ma(李振宏等, 2015). 其实这恰好证明髫髻山期火山喷发是等时的, 前文所测的玄武-安山岩往往代表髫髻山期晚期火山喷发, 这与约153Ma的髫髻山组顶界年龄吻合. 还有作者曾提出髫髻山期、土城子期、张家口期火山岩-沉积岩地层都是穿时的(Davis等, 2001), 但这显然与前期同位素定年的巨大误差或地层鉴定错误有关. 髫髻山期早期的大规模岩浆活动在161~159Ma, 以熔结角砾岩、流纹岩、粗面岩、熔岩等安山质火山岩为特征, 晚期大规模岩浆活动约在154~153Ma, 从安山质熔岩过渡到玄武-安山岩至玄武岩, 中间还有多次较小规模火山喷发. 髫髻山组和下伏的海房沟组/龙门组之间常为一不整合面, 不整合面之上, 火山岩之下在部分地区发育炭质粉砂岩(如宁城盆地、柳江盆地), 局部含木化石, 代表了一层古土壤及髫髻山期初期的植被面貌(黄迪颖, 2015, 2016). 因此不整合面的年代要略早于髫髻山组火山岩起始年龄, 本文暂估为161Ma, 这与准噶尔盆地头屯河组底部推测年龄161.2Ma(Fang等, 2015)是高度一致的.

3.5　侏罗系第5阶

全国地层委员会建议陆相上侏罗统年代地层层型以辽西北票金岭寺-羊山盆地土城子组剖面为代表, 建立土城子阶, 在蔡家沟剖面发现了大量叶肢介、介形虫、植物、孢粉化石(王思恩和季强, 2008). 建阶报告认为土城子组下部属中侏罗统巴通阶上部及卡洛夫阶, 上部为牛津阶(王思恩和季强, 2008), 这与近年来的生物地层学和同位素年代学研究不符. 本文认为侏罗-白垩系界线应位于土城子组中下部. 土城子组化石分为两个组合: 下部为*Pseudograpta-Sinograpta-Monilestheria*叶肢介带和*Darwinula-Damonella-Timiriasevia*介形虫带, 上部为*Yanshanoleptestheria-Pingquania-Lingyuanella*叶肢介带和*Djungarica-Mantelliana-Damonella-Stenestroemia*介形虫带(王思恩和季强, 2008;

王思恩等, 2013). 下部介形虫带中丰富的*Darwinula*和*Timiriasevia*仍继承了髫髻山组介形类的特征, 具有侏罗纪特色, 而上部组合*Djungarica*的大量出现可作为白垩纪起始的象征. 土城子组下部叶肢介组合和张家口-大北沟组的叶肢介存在密切联系, 后者的*Nestoria*和*Sentestheria*应从土城子组中的*Pseudograpta*和*Monilestheria*演化而来(王思恩等, 2013). 上部叶肢介组合与东方叶肢介群存在联系, 具有白垩纪特征. 因此, 侏罗-白垩系界线应从土城子组上下两个生物组合之间穿过. 不同地区土城子组的沉积阶段和沉积相并不相同, 以金-羊盆地为例, 侏罗-白垩系界线应位于土城子组一段的上部. 全国地层委员会《中国地层表》编委会(2014)认为中国上侏罗统地层对应土城子组, 但未建阶. 这主要考虑到土城子阶的准确归属难以决断, 考虑到年代地层的完整性, 暂将其作为晚侏罗世的阶处理(王泽九等, 2014). 根据阶名和岩石地层不能重名的原则, 王思恩等(2013)建议将土城子阶改称三宝营阶.

邓胜徽等(2015)注意到头屯河组近顶部*Classopollis*花粉含量显著增高, 暗示了晚侏罗世全球性气候干化事件. 这次气候事件在中国影响广泛, 导致了生物群的显著改变, 如头屯河组、七克台组和王家山组顶部的叶肢介组合发生了显著变化, 出现了*Sinokontikia*、*Turfanograpta*、 *Tianshanograpta*、*Paleoleptestheria*等分子(王思恩, 1985a; 邓胜徽等, 2003). 华北北部发生了髫髻山期晚期大规模火山喷发, 生物组合面貌不清, 但燕辽生物群的晚期组合基本在此时灭绝. 在玛纳斯阶的层型剖面头屯河组和齐古组为整合接触, 界线难分. 此时用岩石地层作为阶的界线标准模糊且难以表达等时概念, 因此建议*Classopollis*花粉含量显著增高及新叶肢介带出现的底界作为玛纳斯阶和第五阶的界线, 时代大约为155Ma.

Swisher III等(2001)最先测定土城子组同位素年龄, 其上部火山灰透长石单晶的Ar-Ar年龄为(139.4±0.19)Ma, 说明侏罗-白垩系界线穿过土城子组. 土城子组和髫髻山组呈整合接触或假整合接触, 其底界年龄一般需用髫髻山组顶部和土城子组底部绝对年龄共同约束. 髫髻山组顶部在不同地区得到了一系列锆石U-Pb年龄数据, 如(153.6±3.8)、(152.6±0.3)、(153.3±3.3)、(152.5±0.4)Ma等(Cope, 2003; Davis等, 2001; 刘健等, 2006). 土城子组底部年龄在不同地区曾得到(151.5±3.4)、(152.3±2.9)、(151.8±3.3)、(153.7±1.1)Ma等锆石U-Pb年龄(Cope, 2003; Cope等, 2007; Xu H等, 2012). 因此, 刘健等(2006)将土城子组和髫髻山组的界线年龄定于153Ma左右是合理的.

相较以往侏罗系生物地层学的认识, 本文结合近年来的同位素年代学进展将我国陆相中上侏罗统地层明显上移, 因而在准噶尔盆地南缘发育相对完整且连续的陆相侏罗纪地层, 可根据齐古组建立相应的阶, 而侏罗-白垩系界线应从齐古组上部通过. 一些作者得到齐古组凝灰岩锆石U-Pb年龄(157~167)Ma(王思恩和高林志, 2012; 邓胜徽等, 2015), 但这些锆石均可能为继承锆石. 而齐古组下部锆石U-Pb年龄151Ma则可能代表其实际年龄(Fang等, 2015), 并与土城子组时代吻合. 一些作者分析了齐古组的碎屑锆石, 得到159Ma的小峰值和151Ma的最年轻锆石(Yang等, 2012). 159Ma的继承锆石应代表头屯河组岩浆活动时间, 151Ma的最年轻锆石代表了齐古组年龄. 齐古组生物组合特征如下: 介形类为*Darwinula-Djungarica-Timiriasevia*组合, 腹足类为V*alvata zhongjiangensis-Cincinna penglaizhenensis-Amplovalvata* sp.组合, 孢粉为*Classopollis-Pinuspollenites*组合(邓胜徽等, 2010). 齐古组的介形类仍含有明显的*Darwinula-Timiriasevia*组合, *Djungarica*出现在齐古组上部(邓胜徽等, 2003), 它的大量出现可作为白垩纪的起始. 从生物组合对比不难发现齐古组相当于四川盆地遂宁组, 也就是说侏罗-白垩系界线应从遂宁组上部穿过. 最近有学者通过锆石U-Pb定年认为遂宁组的绝对年龄小于120Ma(Liu G等, 2017). 但这些锆石很可能受到后期变质作用而不能反映实际年龄, 而原文图8中可见145Ma左右聚集的4颗锆石可能接近遂宁组该层段的真实年龄.

3.6 海相侏罗系

中国海相侏罗系并不发育, 印支运动后华南和西南地区出现了大规模海退, 新特提斯洋主要分布在西藏地区、青海南部、新疆西南部、云南西部, 以及广东中部、香港、湖南南部、福建西部、台湾等地; 黑龙江东部发育了古太平洋域海相及海陆交互相沉积(孙东立等, 2000). 广东、湘南和闽西南的海侵区发育在早侏罗世早期, 而湘中、赣中地区形成海湾、潟湖区(王思恩等, 1994).

国际地层表中的侏罗纪年代地层系统主要是根据

欧洲海相侏罗系中特定菊石带的首现划分. 中国侏罗系海相地层在青藏地区较为完善, 化石丰富, 其中菊石群基本面貌与欧洲相似, 是研究中国侏罗纪年代地层学至关重要的地区. 据此, 建立起一些可与特提斯区系标准菊石带对比的生物带和组合, 但研究现状尚不具备《国际地层指南》所要求的建阶条件(孙东立等, 2000). 另外, 中国学者还建立了青藏地区腕足类、海相双壳类生物地层带以及黑龙江东部的海相双壳类、放射虫、沟鞭藻生物地层带等(孙东立等, 2000; 许坤等, 2003).

海陆交互相沉积特别是非海相地层中的海相化石夹层十分重要. 侏罗纪海陆交互相地层限于黑龙江东部、青海南部、西藏南部、云南西部等地区, 其中的海相夹层少见菊石, 给中国海相-陆相侏罗系对比带来很大困难(邓胜徽等, 2003). 中国海相和陆相侏罗系对比具有一定的研究基础, 一些作者试图结合海相的特提斯喜马拉雅菊石组合、冈底斯地区双壳类组合及青海南部海相及非海相双壳类的对比给出陆相侏罗系的大致时代框架(邓胜徽等, 2003).

4 中国侏罗系地层对比

中国侏罗系陆相地层广泛发育, 但常沉积在一些孤立的小型盆地, 岩性有所差异, 出露常不完整, 生物面貌存在地域差别, 对同一类化石常存在鉴定分歧, 且缺乏可行的同位素定年条件, 因而中国陆相侏罗系的划分和对比相当混乱.

4.1 中国陆相三叠-侏罗系界线

三叠-侏罗系界线层型剖面位于奥地利Karwendel山的Kuhjoch剖面(GSSP), 将侏罗系的底界定义为菊石*Psiloceras spelae* Guex的*trolicum* Hillebrandt & Krystyn亚种的首现处(邓胜徽等, 2010). 中国海相三叠-侏罗系界线在西藏地区多个剖面可见, 可与特提斯区标准菊石带对比. 其中, 隆子县日当组底部、聂拉木剖面乌垅组底部都发现了*Psiloceras*, 是欧洲赫唐阶底部*Planorbis*带的主要分子(孙东立等, 2000).

中国陆相三叠-侏罗系界线划分尚存在一定争议. 东部和中部地区侏罗系下部地层存在不同程度的缺失, 在准噶尔盆地、柴达木盆地、四川盆地等三叠-侏罗系沉积较为连续. 准噶尔盆地三叠-侏罗系界线划分存在争议, 如张璐瑾(1983)认为八道湾组的时代为晚三叠世, 三叠-侏罗系界线应在八道湾组之上; 黄嫔(2006)认为三叠-侏罗系界线应在郝家沟组内部; 更多作者认为三叠-侏罗系界线应在郝家沟组和八道湾组之间(邓胜徽等, 2003; 卢远征, 邓胜徽, 2005; Sha等, 2011), 相当于植物组合*Hausmannia-Clathropteris minoria*和*Todites princeps-Clathropteris elegans*之间, 孢粉组合*Asseretospora-Dictyophyllidites-Concavisporites*之底(邓胜徽等, 2010). 根据植物、大孢子、叶肢介和双壳类的研究也不能排除郝家沟组上部属于侏罗系的可能(邓胜徽等, 2003). 近期, 一些作者详细研究了郝家沟剖面的郝家沟组和八道湾组旋回地层, 认为三叠-侏罗系界线和三叠纪末大灭绝事件时代十分接近, 位于八道湾组近底部, 略高于郝家沟组-八道湾组界线(Sha等, 2015). 而全国地层委员会《中国地层表》编委会(2014)将永丰阶的底定在199.6Ma.

在四川盆地一般认为三叠-侏罗系界线位于须家河组和自流井组之间(王永栋等, 2010; 原文为珍珠冲组). 最近, 一些作者对四川盆地多个剖面的须家河组开展了磁性年代学、天文旋回和生物地层学的综合研究, 认为须家河组的时代为三叠纪诺利期末到三叠-侏罗系之交, 进一步确认了四川盆地三叠-侏罗系界线位于须家河组和自流井组之间(Li M等, 2017; 原文为珍珠冲组). 根据《四川省岩石地层》的建议, 本文采用将珍珠冲组合并入自流井组的方案(四川省地矿局, 1997; 全国地层委员会《中国地层表》编委会, 2014).

以上地区三叠-侏罗纪之交缺乏火山活动, 无法进行精确的同位素定年, 目前地层对比主要依靠陆相生物地层研究和古地磁资料. 本文暂依据传统地层划分意见将准噶尔盆地的三叠-侏罗系界线置于郝家沟组和八道湾组之间, 在四川盆地置于须家河组和自流井组之间.

4.2 中国陆相侏罗-白垩系界线

中国侏罗-白垩纪之交主要为陆相沉积, 相关地层在华南普遍缺失. 一般认为准噶尔盆地和鄂尔多斯盆地相关地层岩性较粗, 仅含少量化石, 难以进行地层对比. 相对来说, 燕辽地区侏罗-白垩纪生物地层研究较为深入, 且具有多组同位素定年数据, 因此土城子组成为解决中国陆相侏罗-白垩系界线的关键.

土城子组的时代认识仍存很大分歧, 特别是生物

地层学和同位素年代学结论很不吻合(王思恩等, 2013). 过去生物地层学研究多认为土城子组属中晚侏罗世(沈炎彬和陈丕基, 1984; 王思恩, 1998; 王五力等, 2004)或晚侏罗世(王思恩和李罡, 2008; 王思恩等, 2013; 邓胜徽等, 2017). 目前较多学者认可侏罗-白垩系界线位于土城子组内部(孙立新等, 2007; 许欢等, 2014; 邓胜徽等, 2015; 刘少峰等, 2018), 但多认为位于土城子组上部(季强等, 2006; 万晓樵等, 2013; Li和Matsuoka, 2015). 土城子组化石并不丰富, 无脊椎动物以*seudograpts-Cetacella*(假线叶肢介-小怪介)为代表(王五力等, 2004). 下伏的髫髻山组化石也较少, 难以建立该地区连续的化石带, 且很难与欧洲海相化石进行精确对比. 近年来, 髫髻山组玲珑塔化石层发现了大量无脊椎动物, 如叶肢介、介形类、双壳类、腹足类、昆虫等(段治等, 2009; 黄迪颖, 2015, 2016), 为了解土城子组古生物演化提供了线索. 中国陆相侏罗-白垩系界线的生物地层学分析后文将详述.

土城子组和张家口组之间存在角度不整合面, 即燕山运动B幕. 如前文所述, 土城子组底部的年龄在153Ma左右, 其顶部年龄一般认为在137~136Ma(张宏等, 2008b; Xu H等, 2012; 王思恩等, 2013), 限制了燕山运动B幕变形的时间. 不整合面之上张家口组底部的时代约为135Ma(Davis等, 2001; Niu等, 2004; 赵越等, 2004b). 虽然土城子组岩相及发育时限在不同地区有所差异, 但其顶底较为明确. 底部一般上覆在髫髻山组火山岩、火山碎屑岩或古老地层之上, 顶部位于燕山运动B幕不整合面之下, 时代跨度约为153~136Ma. 侏罗-白垩系界线145Ma从时间上看大约位于土城子期(153~136Ma)中间位置, 但土城子组中上部多为河流冲积扇砾岩或风成砂岩, 沉积速率较快, 因此145Ma在大多数盆地应位于土城子组偏下处. 土城子组中部的绝对年龄数据不多, 如张宏等(2005)测得滦平小营土城子组二段底部凝灰质熔岩的锆石U-Pb年龄(142.6±1.3)Ma. 张宏等(2008b)在承德盆地和金羊盆地测得(146.5±1.7)和(147.4±2.2)Ma的所谓底部年龄可能代表土城子组中部层位年龄(许欢等, 2014). 目前在北票地区土城子组得到了相对完整的同位素年代序列, 如三段中部约为137Ma, 三段下部约为139、140Ma, 二段底部约为142Ma, 髫髻山组顶部约为154Ma(许欢等, 2014). 在滦平盆地土城子组近顶部约为136Ma, 中上部约为140Ma, 中部约为143Ma, 髫髻山组顶部约为154Ma(张宏等, 2005; 许欢等, 2014). 张宏等(2008b)认为在142~141Ma期间冀北、辽西发生了一次明显的火山活动, 对应地层为土城子组一段顶部. 因此, 中国陆相侏罗-白垩系界线应从土城子组中下部穿过. 全国地层委员会《中国地层表》编委会(2014)将完整的土城子组对应完整的上侏罗统并不合适.

在准噶尔盆地侏罗-白垩系界线一般划在清水河组(吐谷鲁群)之下, 喀拉扎组多认为属于晚侏罗世中期, 而缺乏提塘阶沉积(Eberth等, 2001; 邓胜徽等, 2010; Fang等, 2016; Sha等, 2016). 辽西朝阳金羊盆地及北票盆地土城子组可分为三段: 一段为杂色细碎屑岩, 为滨湖-浅湖相沉积; 二段以灰紫色砾岩等杂色粗碎屑岩为主, 代表冲积扇相沉积; 三段主要为风成沙漠或干涸湖(邢德和等, 2001). 在不同盆地土城子组的岩相组合差别较大, 但年代范围基本一致(许欢等, 2014). 准噶尔盆地侏罗-白垩纪之交沉积层与燕辽地区有可比性. 齐古组为杂色细碎屑岩, 喀拉扎组以灰褐色砂砾岩为主, 二者大致相当于土城子组. 近期的同位素年代学研究揭示齐古组下部的锆石U-Pb年龄约为151Ma(Fang等, 2015), 验证了它和土城子组沉积时代的关联性. 因此, 在准噶尔盆地侏罗-白垩系界线应位于齐古组上部. 鄂尔多斯盆地安定组为细碎屑岩, 芬芳河组为砾岩, 二者也相当于土城子组. 侏罗-白垩系界线在鄂尔多斯盆地应位于安定组上部. 因此, 中国侏罗系普遍缺失提塘阶的观点(如邓胜徽等, 2017)并不准确. 准噶尔盆地清水河组之下及鄂尔多斯盆地宜君组之下的沉积缺失相当于燕山运动B幕. 另外, 早白垩世早期中国北方发育了一套凡兰吟期-欧特里夫期的风成岩. 土城子组三段风成砂岩下部的锆石U-Pb年龄约为137.4Ma(许欢等, 2013). 本期风成沙漠还发育于鄂尔多斯盆地下白垩统洛河组(许欢等, 2013), 新疆五彩湾地区吐谷鲁群下部等(Eberth等, 2010). 可见, 侏罗-白垩纪之交中国北方地区普遍发育一套红色沉积及风成沙漠, 代表了干旱气候.

4.3 燕辽地区侏罗纪地层对比

燕辽地区(京西、冀北、辽西)是中国侏罗纪地层和生物群研究最深入的地区, 包括生物地层学和同位素年代学. 《北京西山地质志》将京西侏罗系划分为门头沟系、九龙山系及髫髻山层(叶良辅, 1920). 翁文灏1927年基于北京西山地质认识提出燕山运动的概

念. 辽西北票盆地也是侏罗纪地层研究的经典地区, 1928年翁文灏根据对北票盆地地质构造的新认识对燕山运动进行了厘定(Wong, 1927, 1928). 北票盆地侏罗纪地层自下而上通常划分为羊草沟组、兴隆沟组、北票组、海房沟组、髫髻山组(蓝旗组)、土城子组; 对应京西盆地杏石口组、南大岭组、窑坡组、龙门组、九龙山组、髫髻山组、土城子组(后城组).

根据前文分析可知土城子组的沉积年代大约在153~136Ma, 其顶界为一区域性角度不整合面(燕山运动B幕), 沉积间断时间较短, 为136~135Ma. 土城子组和髫髻山组为整合接触或假整合接触, 有时界线不易区分, 为153Ma左右(刘健等, 2006; 许欢等, 2014). 髫髻山组的底也是一个区域性界面, 有时可见角度不整合(黄迪颖, 2015), 可用上下岩层的同位素年龄卡定, 约为161Ma. 辽宁建昌县大西山、建平县棺材山, 河北青龙县南石门的髫髻山组大套火山岩中含厚层湖相沉积岩夹层, 富含动植物化石. 海房沟组的底也是一个区域性不整合面, 以一套同造山砾岩为代表. 目前尚无法测定北票组顶部岩层的绝对年龄, 但海房沟组底部砾岩段凝灰岩夹层的绝对年龄167.1Ma应十分接近不整合面的年龄, 这个界面本文估计为168Ma左右. 这与一些作者推算的燕山运动A幕时间, 即和海房沟组相当的云岗组的底界年龄吻合(Li等, 2014).

京西、冀北常将髫髻山组大套火山岩之下的火山碎屑岩地层称为九龙山组. 黄汲清指出九龙山组和髫髻山组在形成的时间上十分相似, 二者是相变关系(黄汲清, 1954, 1960). 这一观点被近年来的同位素年代学研究验证(刘健等, 2006; 李海龙等, 2014). 九龙山组底界不老于161Ma, 它的沉积时代和髫髻山组一样在161~153Ma. 京西淤白村九龙山组底部凝灰岩中含约161和154Ma两期锆石对应了髫髻山期早期和晚期的火山活动(李海龙等, 2014), 证明了一些九龙山组沉积相对年轻, 相当于髫髻山组的上部. 冀北髫髻山组火山岩之下富含化石的碎屑岩地层常被称为九龙山组, 道虎沟化石层也被很多作者归入九龙山组. 这套含火山碎屑岩的沉积层实际为龙门组或海房沟组, 含重要化石如*Ferganoconcha sibirica*和 *Triglypta pingquanensis*等(河北省地质矿产局, 1996). 一些作者测得承德盆地九龙山组凝灰岩的锆石U-Pb年龄(163.4±1.1)Ma, 代表了这套富含化石地层的时代, 但所指化石均属龙门组-海房沟组(陈海燕等, 2014). 从原始图像看(陈海燕等, 2014)(表1; 图3和4), 所测锆石可能属于不同期次, 包含了较多的龙门组捕获锆石. 冀北部分地区九龙山组和龙门组极易混淆. 龙门组底部为复成份砾岩, 中上部为细碎屑岩夹火山碎屑岩, 不整合于窑坡组或古老岩系之上, 上覆九龙山组-髫髻山组火山碎屑岩或火山岩, 富含双壳类*F. sibirica*, 叶肢介*T. pingquanensis*等化石, 是*Coniopteris-Phoenicopsis*植物群繁盛时期, 时代为168~161Ma. 九龙山组为火山碎屑岩地层, 是髫髻山组的同时异相沉积, 不整合于龙门组或更古老地层之上, 整合于髫髻山组或土城子组之下, 尚未发现化石, 时代为161~153Ma(表1).

4.4　华北和华南侏罗纪地层对比

华南地区侏罗系分布广泛但存在明显缺失. 南京地区侏罗系研究始于1868年李希霍芬命名的南京砂岩, 谢家荣(1928)进行了细致划分, 并指出黄马青页岩和石英砾岩(象山群底部)间存在假整合. 下-中侏罗统象山群可进一步划分为钟山组(南象山组)和北象山组. 这套地层在华南广泛发育, 宁镇地区的北象山组/钟山组相当于安徽的罗岭组/磨山组, 洪琴组/月潭组, 浙江的渔山尖组/马涧组, 江西的罗坳组/林山组, 福建的漳

表 1　九龙山组和龙门组的对比关系

<table>
<tr><th colspan="3">常用传统观点</th><th colspan="2">本文观点</th></tr>
<tr><th colspan="2">京西盆地</th><th>北票盆地</th><th>京西盆地</th><th>北票盆地</th></tr>
<tr><td colspan="2">髫髻山组</td><td>髫髻山组（蓝旗组）</td><td rowspan="2">髫髻山组-九龙山组</td><td rowspan="2">髫髻山组</td></tr>
<tr><td colspan="2">九龙山组</td><td>海房沟组</td></tr>
<tr><td rowspan="2">门头沟煤系
（窑坡组）</td><td>龙门组</td><td rowspan="2">北票煤系（北票组）</td><td>龙门组</td><td>海房沟组</td></tr>
<tr><td>窑坡组</td><td>窑坡组</td><td>北票组</td></tr>
</table>

年龄(Ma)	年代地层		阶(国际)	菊石	中国陆相阶	叶肢介	介形类	双壳类	孢粉
140.0	白垩系	下白垩统	贝里阿斯阶	*Berriasella grandis*	冀北阶	*Yanshanoleptestheria-* *Pingquania-Lingyuanella* *Eosestheriopsis dianzhongensis*	*Djungarica-Mantelliana-* *Damonella-Stenestroemia*	*Arguniella-Sphaerium*	*Schizaeoisporites* *Cicatricosisporites*
145.0 150.0	侏罗系	上侏罗统	提塘阶	*Berriasella Jacobi-* *Blanfordiceras acuticosta-Himalayites* *Aulacosphinctes-Virgatosphinctes* *Aulacosphinctoides-Gymnodiscoceras*	未定阶	*Pseudograpta/Sinokontikia* *Turfanograpta* *Tianshanograpta*	*Cetacella-Mantelliana-* *Darwinula*	*Danlengiconcha* *Psilunio suni-Pseudocardinia*	*Classopollis-Callialasporites*
155.0			钦莫利阶	*Katraliceras-Metagravisia* *Rasenia-Proresania*					
160.0			牛津阶	*Mayaites-Dhosaites-Peresphinctes* *Peltoceratoides*层	玛纳斯阶	*Tianzhuestheria* *Liaoxiestheria* *Triglypa*	*Darwinula sarytirmenensis-* *D. magna-Timiriasevia*	*Psilunio-Eolamprotula-* *Cuneopsis-Pseudocardinia*	*Classopollis-* *Concavissimisporites-* *Cyathidites*
165.0		中侏罗统	卡洛夫阶	*Grossouira-Alligaticeras, Erymnoceras* *Grayiceras-Subkossimatia, Macrocephalites-Choffati*	石河子阶	*Triglypta-Qaidamestheria* *T. ziliujingensis* *T. haifanggouensis*	*Darwinula sarytirmenensis-* *Timiriasevia*	*Unio-Margaritifera-* *Yananoconcha-* *Ferganoconcha*	*Cyathidites-Neoraistrickia-* *Piceaepollenites*
			巴通阶	*Oxycerites, Neuqueniceras, Homoeoplanulites* *Siemiradzkia*					
170.0			巴柔阶	*Wetchellia-Fontannesia* *Euhoploceras*	硫磺沟阶	*Shizhuestheria truncata* *Eosolimnadiopsis* *Palaeolimnadiopsis* *Palaeolimnadia baitianbaensis*	*Metocypris unibulla-* *Darwinula* *Darwinula-Timiriasevia*	*Unio-Margaritifera-* *Ferganoconcha*	*Deltoidospora-Classopollis-* *Piceites*
			阿林阶	*Leioceras-Geyerina-Ludwigia*					
175.0 180.0		下侏罗统	托阿尔阶	*Dumortieria-Grammoceras-Polyplectus* *Bouleiceras-Catacoeloceras*					
185.0			普林斯巴阶	*Fuciniceras-Prodactylioceras* *Galaticeras-Coeloceras*	永丰阶	*Palaeolimnadia baitianbaensis*	*Metocypris mackarrovi-* *Darwinula*	*Unio-Margaritifera-* *Ferganoconcha-* *Waagenoperna*	*Osmundacidites-* *Cerebropollenites-* *Protoconiferus*
190.0 195.0			新涅缪尔阶	*Oxynotum-Raricostatum*带 *Turneri-Obtusum*带 *Semicostatum*带 *Bucklandi*带					
			赫塘阶	*Angulata*带 *Planorbis*带					
201.3 205.0	三叠系	上三叠统	瑞替阶		佩枯错阶	*Euestheria*	*Darwinula-Lutkevichinella-* *Tungchuania*	*Shaanxiconcha*	*Dictyophyllidites-* *Cerebropollenites-* *Pinuspollenites*

图 3　中国侏罗纪主要生物组合带

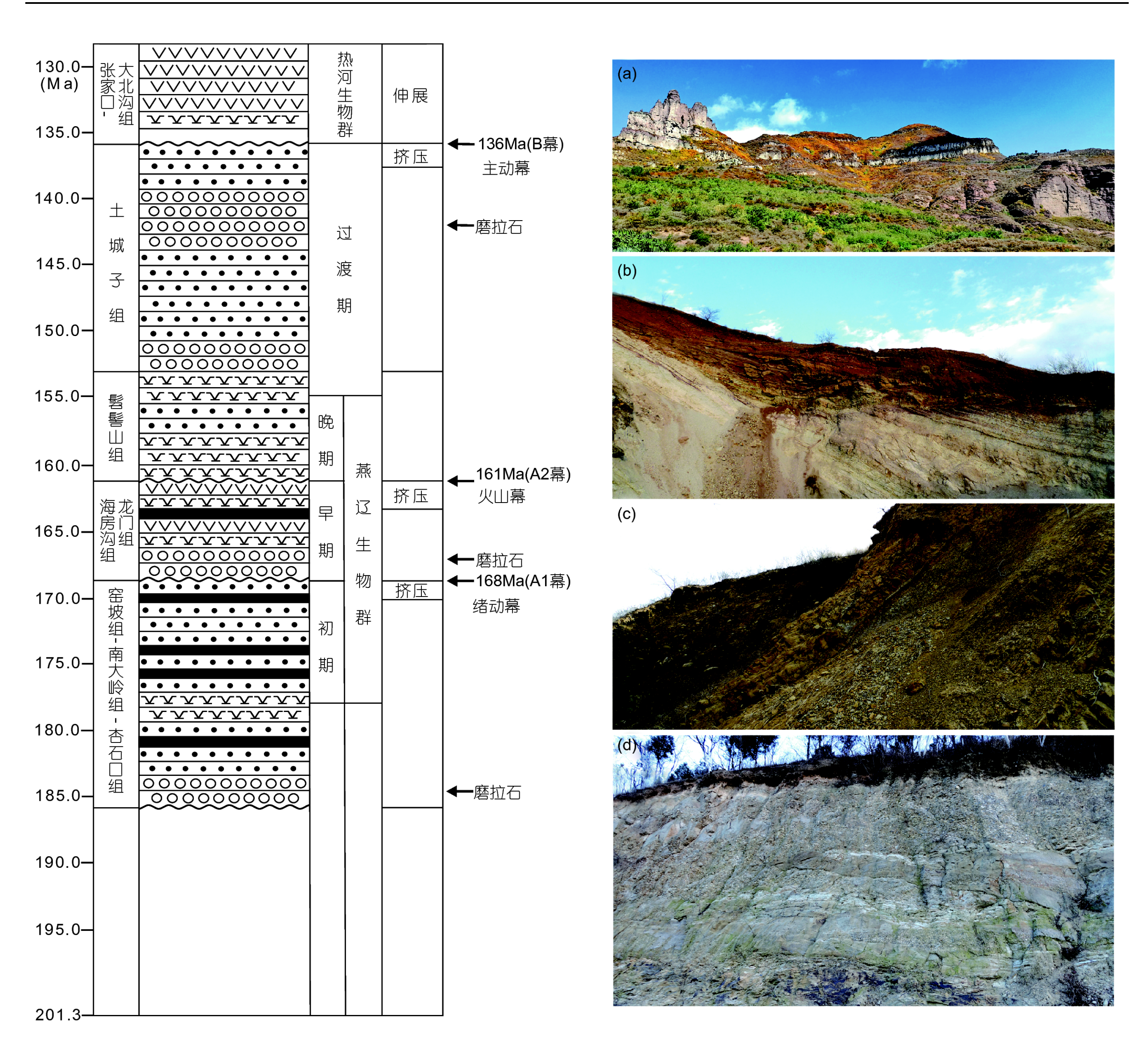


图 4　燕辽地区燕山运动和燕辽生物群的关系及构造背景

(a) 承德市鸡冠山, 显示燕山运动B幕土城子组(下部紫红色)和张家口组(上部灰白色)之间的角度不整合; (b) 宁城县姜杖子, 显示燕山运动A2幕海房沟组(下部灰白色)和髫髻山组(上部紫红色)之间的角度不整合; (c) 北票市海丰村, 显示燕山运动A1幕北票组(右侧砂页岩)和海房沟组(左侧同造山砾岩)之间的微角度不整合; (d) 北京门头沟, 显示杏石口组底部砾岩, 属于印支运动后续作用的产物

平组/梨山组, 桂东北的石梯组/大岭组, 滇中的川街组/下禄丰组及合肥盆地的圆筒山组/防虎山组等(鞠魁祥, 1987; 王思恩等, 1985b, 1994; 邓胜徽等, 2017). 这套地层覆盖在晚三叠世煤系地层或更老的岩层之上, 下部地层单元含煤, 底部有时可见石英砾岩, 一般归入下侏罗统. 上部单元底部有时也见石英砾岩, 向上逐渐过渡为红层, 多归入中侏罗统, 二者间常为假整合接触.

象山群下部如钟山组、磨山组富含植物化石, 称为象山植物群, 以苏铁类占优, 其次为银杏类、真蕨和种子蕨, 含三叠纪延续分子, 被认为是典型的早侏罗世植物群(黄其胜, 1983). 也有作者认为它属于早侏罗世晚期, *Todites*和*Coniopteris*等中侏罗世繁盛分子数量不多(万晓地, 1987). 南京地区钟山组常见*Phoenicopsis*, 属*Coniopteris-Phoenicopsis*植物群初期阶段. 类似的植物组合也见于马涧组、梨山组、月潭组等(王

思恩等, 1985b). 也有作者认为磨山组的植物面貌属*Ptilophyllum pecten-Todies princeps*组合, 为早侏罗世中晚期至中侏罗世早期(陆伍云等, 1985). 其中一些保存表皮构造的本内苏铁类与中侏罗世约克郡植物群分子十分接近(曹正尧, 1998). 磨山组双壳类组合*Pseudocardinia-Ferganoconcha-Tutuella*显示了早侏罗世中晚期至中侏罗世早期的特征(陆伍云等, 1985)或被认为具有中侏罗世特色(万晓地, 1987). 综合来看, 象山群的下部地层单元如钟山组、磨山组应属硫磺沟阶, 其下部为早侏罗世中晚期, 上部为中侏罗世早期. 钟山组之下的范家塘组, 磨山组之下的拉犁尖组含有典型的三叠纪晚期生物群, 可与延长组对比. 以上地区皆缺乏早侏罗世早期沉积.

磨山组上覆的罗岭组发现的双壳类、介形类、腹足类、轮藻均具有中侏罗世特色(万晓地, 1987). 北象山组的孢粉显示出中侏罗世面貌(黄嫔, 2000). 安徽含山县彭庄剖面的罗岭组(原文称含山组)发现的大量动植物化石为揭示其时代提供了重要依据(陆伍云等, 1985). 其中植物以*Coniopteris*繁盛为重要特征, 时代可能为晚侏罗世但也不排除中侏罗世晚期的可能(曹正尧, 1985). 叶肢介化石含有两类*Euestheria*(沈炎彬, 1985). 近期研究发现以前中国中侏罗世的*Euestheria*叶肢介实属三饰叶肢介科(Triglyptidae), 而真正的*Euestheria*主要发现于三叠纪(Liao等, 2017). 含山组的"*Euestheria*"壳瓣上的小凹坑构造在腹缘具线性排列现象, 接近*Triglypta haifanggouensis*(海房沟三饰叶肢介), 属于自流井三饰叶肢介群的早期分子. 昆虫化石与燕辽昆虫群有密切联系(林启彬, 1985). 双壳类为中侏罗世组合(陆伍云等, 1985). 因此, 罗岭组及相当地层属石河子阶, 主体为中侏罗世中晚期, 上部可能已达晚侏罗世(图2).

钟山组与杏石口组底部的砾岩为早侏罗世中期东部高山-高原南北两翼的磨拉石建造. 而以杏石口砾岩为代表的这套磨拉石在华北北缘呈东西向分布, 可能影响十分广泛, 代表了燕山运动之前的一次构造运动. 这套砾岩与三工河组底界的对比关系尚需进一步研究, 但大致相当于硫磺沟阶底界, 为早侏罗世中期. 华南地区相当于钟山组和北象山组之间常发育假整合面, 很可能代表燕山运动绪动幕(A1幕). 该地区以前认为属于晚侏罗世的火山岩地层, 如安徽的毛坦厂组、苏皖的西横山组实际均属早白垩世且晚于燕山运动B幕135Ma.

5 中国侏罗系生物地层

5.1 叶肢介

叶肢介是侏罗系常见且广布的化石, 产出层位多, 个体数量大, 且演化迅速, 在侏罗系地层划分对比中具有举足轻重的作用. 近年来扫描电子显微镜(SEM)的广泛应用极大的加强了叶肢介壳体表面细微装饰的分辨而利于形态对比研究. 中国侏罗系叶肢介群序列如下(图3).

(1) *Palaeolimnadia baitianbaensis*叶肢介群. *Palaeolimnadia*(古渔乡叶肢介)是中国早侏罗世晚期的代表类型, 主要分布于硫磺沟阶, 也分布于永丰阶. 早侏罗世早期的叶肢介面貌并不清楚, 一般认为也属于*Palaeolimnadia baitianbaensis*群. 八道湾组可能含有*Palaeolimnadia*和*Euestheria*. 早侏罗世早期叶肢介群包含*P. chuangbeiensis*、*P. dachaidanensis*、*P. semicircularis*、*Euestheria taniiformis*、*Illiestheria nilkaensis*、*Bulbilimnadia bullata*、*Loxomegaglypta dafangensis*和*Pseudolimnadia*? *weixinensis*等(邓胜徽等, 2003, 2010; 王永栋等, 2010). *Palaeolimnadia baitianbaensis*群主要分布于三工河组下部、大煤沟组下部、汶南组、自流井组马鞍山段等(邓胜徽等, 2010; 王永栋等, 2010). 富县组出现了多类*Palaeolimnadiopsis*以及*Eosolimnadiopsis*, 也属于早侏罗世中晚期组合(中国地质科学院地质研究所, 1980b), 被称为*Eosolimnadiopsis*叶肢介群(袁效奇等, 2003).

另外, 在四川盆地新田沟组还发育了*Shizhuestheria truncata*, 属于中侏罗世早期叶肢介群(王永栋等, 2010).

(2) *Triglypta ziliujingensis*叶肢介群. Triglyptidae(三饰叶肢介科)是中国中上侏罗统最重要的叶肢介群, 分上下两个组合, 分别对应石河子阶和玛纳斯阶, 相当于*Euestheria ziliujingensis*(自流井真叶肢介)群的范畴. 过去中国中侏罗世具小网状装饰的小型叶肢介多归入*Euestheria*, 但实际应归入*Triglypta*(Liao等, 2017). 中国中晚侏罗世归入*Euestheria*的叶肢介均需重新研究.

Triglyptidae叶肢介群下组合主要分布于中侏罗世中晚期到晚侏罗世早期的石河子阶, 特别繁盛于晚侏罗世初期. 以壳瓣装饰构造简单为特征, 称为*Triglyp-*

*ta-Qaidamestheria*组合(Liao等，2017)，包括*Triglypta ziliujingensis*、*T. haifanggouensis*、*T. pingquanensis*、*T. luangpingensis*和*Qaidamestheria dameigouensis*等. 该组合主要分布于海房沟组、龙门组、窑街组、延安组、西山窑组、万宝组、大煤沟组上部、下沙溪庙组、杨树庄组、罗岭组等. 很多地区*Triglypta* sp.大量出现在这套地层的中上部, 如在道虎沟地区*T. haifanggouensis*大量出现的时代约为163Ma, 代表了晚侏罗世的开始.

Triglyptidae的显著特征为壳瓣表面的小凹坑装饰聚成簇状再呈线性排列，线脊的特征在上组合一些类型中特别明显，如*Tianzhuestheria*(王思恩，2014). Triglyptidae叶肢介群上组合主要分布于晚侏罗世早中期玛纳斯阶，代表类型如*Tianzhuestheria*、*Liaoxiestheria*和*Triglypta*等. 分布的层位包括髫髻山组、王家山组、马凹组和头屯河组等.

(3) *Pseudograpta/Sinokontikia*叶肢介群. 晚侏罗世晚期叶肢介随分布区域不同而差异加大，北方以*Pseudograpta/Sinokontikia*叶肢介群为代表，包括*Pseudograpta murchisoniae*、*Sinokontikia lianmuqinensis*、*Turfanograpta chowmincheni*和*Mesolimnadia jinlingsiensis*等，分布于土城子组下部、王家山组顶部、头屯河组上部等(邓胜徽等，2003)，标志玛纳斯阶的开始. 四川盆地发育了*Eosestheriopsis dianzhongensis*叶肢介群(王永栋等，2010)，土城子组下部叶肢介群为*Pseudograpta-Monilestheria-Sinograpta*组合(王思恩等, 2013), 均具有地方特色.

5.2　介形类

中国侏罗纪的介形虫大多被鉴定为*Darwinula*，且同一层位往往种类分异度很高. *Darwinula*从二叠纪繁盛至今, 现代类型的鉴定主要依据附肢和躯体特征, 但在化石中并未保存，且壳体光滑，难以鉴定. 研究揭示中生代Darwinuloidea超科由2属增加至5属(Rossetti和Martens, 1998), 因而侏罗纪很多*Darwinula*的分类位置需要修正. 目前情况下介形类难以系统划分中国陆相侏罗系生物地层，但对于晚侏罗世地层划分至关重要(图3).

中国北方早-中侏罗世介形虫稀少，准噶尔盆地八道湾组和三工河组发现过少量*Darwinula* sp.(邓胜徽等，2010). 鄂尔多斯盆地富县组发现过少量的*Darwinula* sp.和*Timiriasevia* sp.(邓胜徽等, 2003). 南方早侏罗世早期造上组、广东金鸡组下部凌云山段、闽西南新桥组发育*Gomphocythere*? *Yubacunensis-G. longa*组合，早侏罗世晚期发育*Darwinula-Naevicythere*组合(钱丽君等, 1987).

石河子阶和玛纳斯阶的介形类称为*Darwinula sarytirmenensis-D. magna-Timiriasevia*组合，但*D. magna*的出现层位可能相对较高, 如在玛纳斯阶常见. 本组合最早出现在石河子阶，如龙门组、窑街组、下沙溪庙组等(邓胜徽等, 2003). 海房沟组曾发现*D. sarytirmenensis*和*Timiriasevia shensiensis*, 浙江渔山尖组曾发现*D. sarytirmenensis*和*D. impudica*等, 属于该组合早期阶段(苏德英和李有桂, 1989). 该组合在玛纳斯阶十分繁盛，见于头屯河组、直罗组、王家山组、马凹组、上沙溪庙组、髫髻山组等(邓胜徽等, 2003).

土城子组介形虫化石十分丰富，以*Cetacella*(小怪介)的出现为特色，可分为上下两个组合，下部为*Cetacella substriata-Mantelliana alta-Darwinula bapanxiaensis*组合带，上部为*Djungarica yangshulingensis-Mantelliana reniformis-Stenestroemia yangshulingensis*组合带或称*Djungarica-Mantelliana-Damonella-Stenestroemia*组合带(王五力等, 2004).

四川盆地侏罗纪介形类组合面貌相对连续，早侏罗世早期为*Metocypris mackarrovi-Darwinula*组合，早侏罗世晚期为*Metocypris unibulla-Darwinula*组合，中侏罗世早期为*Ovaticythere-Metocypris-Darwinula*组合，中侏罗世中期至晚侏罗世中期为*Darwinula sarytirmenensis-Metocypris*组合，晚侏罗世晚期至早白垩世初期为*Darwinula-Cetacella-Djungarica-Eolimnocythere*组合(王永栋等, 2010).

*Djungarica*是中国白垩纪重要的介形虫类型，它的早期类型分布在四川盆地遂宁组-蓬莱镇组及相当的地层中，如燕辽地区土城子组、柴达木盆地洪水沟组、准噶尔盆地齐古组、塔里木盆地西南缘塔尔尕组、甘肃东部苦水峡组等(庞其清，1982；卫民，1984; 邓胜徽等, 2003; 赵应成等, 2003). 这些地层均位于位于侏罗-白垩系界线附近或稍靠上(燕山运动B幕之下). 这个地层组合的下部单元(如遂宁组、齐古组)的上部出现了*Djungarica*的先驱分子如*D. yunnanensis*、*D. postiacuminata*. 上部地层单元(如蓬莱镇组、红水沟组、土城子组三段)则出现了多样化较高的*Djungarica*

种类. *Djungarica*的大量出现可以作为中国陆相侏罗-白垩系界线的标志和白垩纪第一个介形虫带的重要分子. *Djungarica yunnanensis*最早描述于滇西和平乡组上段(叶春辉等, 1977), 即坝注路组(云南省地质矿产局, 1996). 上覆的下白垩统景星组下段陆相生物组合类似土城子组, 如介形类*Darwinula-Mantelliana-Damonella*组合, 其中*Damonella ovata*和*D. depressa*等也发现于土城子组三段(庞其清, 1982). 景星组上段出现了典型的早白垩世介形类*Cypridea*(李代芸, 1987). 因此, 侏罗-白垩系界线可置于坝注路组顶部*Djungarica*层位之下. 和平乡组*Djungarica*部分种类分类仍存疑问, 如*D. yunnanensis*背缘叠覆弱, 与*Djungarica*属征有区别(侯佑堂等, 2002).

5.3 双壳类

中国侏罗纪双壳类化石十分丰富, 但由于保存原因, 准确鉴定较难. 目前中国侏罗系双壳类研究较多, 对陆相地层划分及海相-陆相地层对比起到举足轻重的作用(图3).

中国陆相侏罗系双壳类可分为两大组合, 即早中侏罗世组合*Unio-Margaritifera-Yananoconcha-Ferganoconcha*及晚侏罗世组合*Psilunio-Eolamprotula-Cuneopsis-Pseudocardinia*(邓胜徽等, 2003). 前一组合见于准噶尔和吐哈盆地的八道湾组-三工河组-西山窑组, 柴达木盆地的小煤沟组-大煤沟组, 东祁连山的大西沟组-龙凤山组, 河西走廊的炭洞沟组-窑街组, 鄂尔多斯盆地的富县组-延安组, 辽西的北票组-海房沟组等下-中侏罗统地层, 或大兴安岭万宝组、河南义马组、济源盆地杨树庄等中侏罗世地层. 后一组合见于头屯河组、采石岭组、窑街组上部至红沟组、直罗组和安定组、马凹组和东孟村组等晚侏罗世地层(邓胜徽等, 2003). *Arguniella-Sphaerium-Mengyinaia*是早白垩世双壳类的代表组合, 但值得注意的是随着*Ferganoconcha*的衰败*Arguniella*在髫髻山组就已经出现(黄迪颖, 2015, 2016).

据邓胜徽等(2003)总结, 中国侏罗系双壳类从下至上有以下特定组合: (1) *Waagenoperna*层, 位于准噶尔盆地八道湾组第四段, 属于早侏罗世早期组合, 还见于湖南观音滩组排家冲段(Sha等, 2016); (2) *Ferganoconcha*层, 位于大煤沟组、三工河组、富县组, 发育于早侏罗世晚期; (3) *Pseudocardinia-Qiyangia*组合, 代表了干热型气候, *Pseudocardinia*是华南早侏罗世晚期至中侏罗世繁盛类型; (4) *Lamprotula cremeri*和*Lamprotula guangyuanensis*组合为四川盆地中-晚侏罗世组合; (5) *Psilunio suni-Pseudocardinia*组合发现于安定组、王家山组顶部至苦水峡组, 属于晚侏罗世晚期组合.

5.4 植物

中国侏罗纪植物群十分繁盛, 植物化石是侏罗纪最常见的化石, 广泛应用于中国陆相侏罗系地层对比. 早-中侏罗世中国广泛发育煤系地层, 含有大量植物化石, 晚侏罗世的植物印痕化石相对较少但保存了大量木化石. 中国侏罗纪发育了两大植物群, 即早侏罗世的*Neocalamites-Cladophlebis*植物群和中晚侏罗世的*Coniopteris-Phoenicopsis*植物群.

据邓胜徽等(2003)总结, *Neocalamites-Cladophlebis*植物群分为3个组合: 下组合称为*Zamites*层, 以蕨类、楔叶为主, 苏铁类较多, 发育于小煤沟组一段, 八道湾组下部等; 中组合称为*Cladophlebis*层, 出现了典型的侏罗纪植物化石*Coniopteris*, 发育于小煤沟组二段、八道湾组上部; 上组合称为*Hausmannia*层, 发育于小煤沟组三段到大煤沟组下部、三工河组下部、炭洞沟组、五当沟组、富县组、永定庄组等. *Coniopteris-Phoenicopsis*植物群也分为三个组合, 下组合为*Coniopteris hymenophylloides-Baiera*组合, 真蕨类占优势, 蚌壳蕨科发育, 银杏类丰富, *C. hymenophylloides*、*C. tatungensis*和*Eboracia lobifolia*(C-C-E)共同出现. 中组合为*Coniopteris hymenophylloides-Anomozamites thomasi*组合, C-C-E仍然共同出现, *A. thomasi*和*Nilssoniopteris vittata*繁盛. 上组合为*Coniopteris hymenophylloides-Brachyphyllum*组合, 出现在头屯河组上部等. 由于不同区域海拔、气候的差异, 不同地层单元植物群存在垂直分布差别, *Coniopteris-Phoenicopsis*植物群中-下组合的地层划分较为混乱. 这两个组合代表了中侏罗世-晚侏罗世初期的植物群面貌, 相当于三工河组上部-西山窑组、窑坡组-龙门组、北票组-海房沟组、大同组-云岗组、富县组上部-延安组、义马组的大致范围, 类似约克郡植物群.

京西下窑坡段、上窑坡段、龙门组发育了有一定继承性但面貌迥异的植物组合, 称为头沟植物群, 上窑坡段和龙门组几乎没有共同出现的新类型(陈芬等, 1984). 门头沟植物群的发展趋势显示了早侏罗世繁盛

的分子及银杏类的衰落, 真蕨类和松柏类的发展, 特别是斋堂植物组合中松柏类植物极其丰富(陈芬等, 1984; 段淑英, 1989). 道虎沟生物群发育典型的锥叶蕨-拟刺葵植物群组合, 早期组合拜拉发育, 晚期组合以松柏类占优(黄迪颖, 2016). 这种植物面貌的更替不仅与植物群的演化发展有关, 很多时候反映出地形的升降. 如松柏类繁盛可能暗示了相对较高的海拔, 表现为窑坡组上部及海房沟组上部的植物群面貌演替.

5.5 孢粉

中国侏罗系孢粉化石极为丰富且研究程度较高. 孢粉化石常具有数量多、扩散广, 且可与欧洲海相地层区孢粉进行对比的优势, 是侏罗纪生物地层划分的最重要依据之一(图3).

中国侏罗系孢粉组合以新疆准噶尔盆地研究最为充分且具代表性(卢辉楠, 1995; 邓胜徽等, 2003, 2010, 2015). 根据邓胜徽等(2003)的意见噶尔盆地侏罗纪孢粉组合如下: (1) 永丰阶以*Osmundacidites-Cerebropollenites-Protoconiferus*组合为代表, 产自八道湾组, 该组合既存在少量三叠纪古老分子, 又出现多种具有时代意义的侏罗纪常见属种. (2) 硫磺沟阶以*Deltoidospora-Classopollis-Piceites*组合为代表, 产于三工河组, 相当于富县组、大煤沟组下部、五当沟组、永定庄组、北票组等, 但各地区皆有地方组合特色. 三工河组的孢粉组合以早中侏罗世的常见分子为主(黄嫔, 1993), 上部孢粉组合已显示中侏罗世早期特征(卢辉楠, 1995). 富县组上部孢粉组合显示类似的时代特征, 为早侏罗世晚期至中侏罗世(中国地质科学院地质研究所, 1980a). (3) 石河子阶孢粉以*Cyathidites-Neoraistrickia-Piceaepollenites*组合为代表, 产于西山窑组, 相当的面貌也见于大煤沟组上部、延安组、海房沟组、义马组、坊子组、合肥盆地圆筒山组下段等. 有的作者称其为*Cyathidites-Neoraistrisckia-Disacciatrileti* (CND)组合(黄嫔和李建国, 2007). 在延安组孢粉中可见*Schizosporis*和*Reticulatasporites*两属, 在其他地区一般于下白垩统出现(中国地质科学院地质研究所, 1980a). (4) 玛纳斯阶孢粉以*Classopollis-Concavissimisporites-Cyathidites*组合为代表, 产于头屯河组, 相当的面貌也见于直罗组、王家山组、三台组等. 有的作者称其为*Cyathidites-Disacciatrileti-Classopollis* (CDC)组合(黄嫔和李建国, 2007). 此组合或多或少都出现了早白垩世常见分子*Concavissimisporites*(袁效奇等, 2003). (5) 晚侏罗世晚期至早白垩世初期为*Classopollis-Callialasporites-Schizaeoisporites*组合, 以冀北土城子组为典型. *Concavissimisporites*(海金砂科孢子)和*Schizaeoisporites*(莎草蕨科孢子)等早白垩世常见分子, 也见于安定组(张望平, 1989).

土城子组孢粉也可被称为*Quadraeculina-Classopollis*组合(王五力等, 2004), 但更多的反映出土城子组一段的面貌, 与安定组相似(中国地质科学院地质研究所, 1980a). *Classopollis*在土城子组一段含量很高, 在北票地区可达57~82.6%, 宣化地区可达91%(张望平, 1989; 王五力等, 2004). 向上为递减的趋势, 在三段下部仍可达19.83%, 顶部仅有0.96%(林妙琴等, 2016). 北半球晚侏罗世地层通常富含*Classopollis*, 含量常达40~90%, 该类花粉的锐减发生于侏罗-白垩系界线附近, 反映出全球性的气候变化(中国地质科学院地质研究所, 1980a).

通常认为*Cicatricosisporites*的出现是进入白垩纪的标志(邓胜徽等, 2015), 它最早出现在燕辽地区土城子组和鄂尔多斯盆地安定组(中国地质科学院地质研究所, 1980a; 张望平, 1989; 王五力等, 2004). 安定组孢粉组合展现出一个与下伏地层不同的新植物群面貌(袁效奇等, 2003; 中国地质科学院地质研究所, 1980a), 以晚侏罗-早白垩世分子占优势(蔡习尧等, 2010), 出现了多种*Concavissimisporites*分子, 包括常见于早白垩世的*C. variverrucatus*及其他早白垩世常见分子, 如*Cicatricosisporites*和*Trilobosporites*(中国地质科学院地质研究所, 1980a), 但具体层位不清. 不仅冀北土城子组出现了*Cicatricosisporites*, 辽西金羊盆地土城子组一段顶部孢粉组合中也出现了较多的*Cicatricosisporites* (9.38%)及少量的*Rugubivesiculites*(2.08%), 但并未出现在一段下部孢粉组合中(王五力等, 2004), 可视为白垩纪底部的孢粉分子. 土城子组三段上部的孢粉组合中发现了*Cicatricosisporites*、*Lygodioisporites*和*Rugubivesiculites*等早白垩世特征分子, 同时未见被子植物花粉, 其时代应为早白垩世早期. 此孢粉组合与辽西地区义县组下部层段的孢粉面貌非常相似, 表明二者植物群面貌已无本质差别(林妙琴等, 2016). 从孢粉分析看, 侏罗-白垩系界线应该从土城子组一段上部、安定组上部及相当的层位穿过.

5.6 菊石

菊石是划分侏罗系各阶底界的标准化石, 中国西藏地区海相侏罗系发育, 菊石生物地层曾进行过系统研究. 本文根据孙东立等(2000)对中国海相侏罗系的总结进行简单介绍.

在中国侏罗系菊石生物地层中, 下侏罗统赫塘阶下部为*Planorbis*带, 上部为*Angulata*带; 辛涅缪尔阶自下而上分为4个菊石带: *Bucklandi*带、*Semicostatum*带、*Turneri-Obtusum*带和*Oxynotum-Raricostatum*带; 普林斯巴阶自下而上分4个菊石组合: *Galaticeras-Coeloceras*组合、*Fuciniceras-Prodactylioceras*组合、*Bouleiceras-Catacoeloceras*组合和*Dumortieria-Grammoceras-Polyplectus*组合; 图阿尔阶分为*Dumortieria-Grammoceras-Polyplectus*组合和*Bouleiceras-Catacoeloceras*组合. 中侏罗统阿林阶有*Leioceras-Geyerina-Ludwigia*组合; 巴柔阶有*Euhoploceras*组合和 *Wetchellia-Fontannesia*组合; 巴通阶中部发现*Siemiradzkia*, 晚巴通期发现*Oxycerites*和*Neuqueniceras*, 上巴通期发现*Homoeoplanulites*(阴家润, 2005); 卡洛夫阶自下而上可分4个组合: *Macrocephalites-Choffatia*组合、*Grayiceras-Subkossimatia*组合、*Erymnoceras*组合和 *Grossouira-Alligaticeras*组合. 上侏罗统牛津阶可划分为*Peltoceratoides*层和 *Mayaites-Dhosaites-Peresphinctes*组合; 钦莫利阶分为*Rasenia-Proresania*组合和 *Katraliceras-Metagravisia*组合; 提塘阶自下而上可分为*Aulacosphinctoides-Gymnodiscoceras*组合、*Aulacosphinctes-Virgatosphinctes*组合和*Berriasella Jacobi-Blanfordiceras acuticosta-Himalayites*组合(图3).

6 侏罗纪燕山运动

翁文灏根据京西地质现象于1927年正式提出“燕山运动”的概念, 认为震旦系至中生代地层皆整合, 而髫髻山组不整合覆盖于不同时代古老岩层之上, 因此髫髻山组之前存在重大构造运动(Wong, 1927). 之后他认为燕山运动在北票盆地位于海房沟组和北票组之间, 仅为绪动(Wong, 1928). 他将燕山运动分为3个阶段: 髫髻山组之下不整合为A幕(即绪动期), 白垩纪早期的B幕为主动期, 二者之间为火山期(Wong, 1929).

燕山运动是中国东部及邻区显生宙以来影响最深远的、压倒一切的构造作用, 中国东部的主要构造线由近东西向转化为北东、北北东向(任纪舜, 1989). 燕山期是中国重要的成矿期, 约80%的大中型金属矿床与此有关(陈毓川等, 2007). 董树文等(2000)认为燕山运动所波及的范围及其对全球构造的影响远超出中国东部燕山地区的时空范畴. 燕山运动的分幕不同学者有诸多方案, B幕在燕辽地区为土城子组和张家口组/义县组之间的角度不整合面, 时代约为136~135Ma, 基本取得共识, 而A幕的位置仍存分歧.

严格地讲燕山运动构造幕应为翁文灏1927年提出的髫髻山组之下的界面, 但通常所说的燕山运动是燕山期造山运动的总称. 谢家荣(1937)认为髫髻山组和九龙山组常整合接触, 而九龙山组躺在截断的老地层之上, 因而燕山运动应位于九龙山组之下. 黄汲清(1954, 1960)指出九龙山组和髫髻山组是相变关系. 因此很多作者认为A幕位于髫髻山组或髫髻山组-九龙山组之下, 也有作者认为A幕位于一套同造山砾岩之下, 在京西为龙门组, 辽西为海房沟组(赵越, 1990; 张宏仁等, 2013; 张宏仁, 2016). 黄迪颖(2015)认为翁文灏1927年(京西盆地)和1928年(北票盆地)提出的燕山运动A幕并非代表同一界面, 龙门组之下和九龙山组-髫髻山组之下存在两个不整合面, 相当于海房沟组/龙门组的底和顶, 可分别称为A1幕/绪动幕及A2幕/火山幕(图4). A1幕以一套同造山砾岩为代表, 约为168Ma; A2幕位于大套火山岩或火山碎屑岩之下, 常见一角度不整合面, 约为161Ma. 赵越等(2002)推测燕山运动A幕陆内变形始于龙门期或海房沟期至海房沟组沉积期末告一段落, 时代为170~160Ma. 也就是说燕山运动A幕变形为一较漫长的地质过程, 始于窑坡期/北票期末期的挤压运动, 止于髫髻山期大规模岩浆活动之前.

燕山运动的本质是东亚古亚洲洋构造系或古特提斯构造系向环太平洋主动陆缘的转变(赵越等, 1990). 或以大陆碰撞构造体制转换为西太平洋陆缘俯冲构造体制为主导的陆内变形和陆内造山(董树文等, 2007). 中侏罗世起以东西向的燕山板内变形带为代表的南北向地壳缩短在135Ma后被北北东向的表壳构造岩浆作用取代(赵越等, 2004a). 燕山运动的地球动力机制有不同解读: (1) 古太平洋板块向西俯冲是华北克拉通破坏的主要动力源, 对应了侏罗纪和白垩纪两期岩浆作用, 破坏高峰期为125~120Ma(朱日祥等, 2012); (2) 侏罗纪燕山运动是中朝地块与西伯利亚地块最后碰撞

拼合的结果, 而非环太平洋构造岩浆带作用的产物(赵越等, 2002); (3) 燕山运动是西伯利亚板块向南挤压导致蒙古-鄂霍茨克洋关闭和太平洋向西俯冲交替或叠加作用的结果(Davis等, 2001; Liu S等, 2017; 刘少峰等, 2018; 郑建平和戴宏坤, 2018); (4) 华北中生代构造转换是与周边块体夹击而引起华北地幔大规模上隆(翟明国等, 2004); (5) 燕山运动是以中朝板块为中心, 来自北、东、南西不同板块向东亚大陆“多向汇聚”的构造新体制, 形成陆内俯冲和陆内造山为特征的东亚汇聚构造体系(图1)(董树文等, 2000, 2007). 有学者认为特提斯洋晚侏罗世开始向亚洲大陆俯冲, 印度板块脱离冈瓦纳古陆的时间和特提斯洋逆时针旋转关闭的时间起点与拉萨地块和亚洲大陆的拼接是同步的(董树文等, 2007). 班公-怒江缝合带的碰撞作用以及拉萨地块和羌塘地块的碰撞以白垩纪为主(Zhang等, 2017; Wei等, 2017), 或者发生于晚侏罗世, 约150Ma(Li等, 2017a). 因此, 特提斯洋关闭及印度板块向亚洲大陆的俯冲对中国大部分地区侏罗纪构造变形可能并未产生重要影响.

一些作者将燕山运动A幕之前划分出侏罗纪早期的前造山幕(203~175Ma; 邓晋福等, 2007). 或将早-中侏罗世地质作用划归印支运动, 地层或盆地近东西向展布, 作为三叠纪大陆碰撞的后续影响, 而北东向的盆地出现在晚侏罗世, 代表燕山运动的影响(董树文等, 2007). 翟明国等(2004)认为华北南缘存在230~210Ma的构造挤压期, 而北缘存在230~210和180~160Ma两期构造挤压. 华北及华南北部缺失早侏罗世早期沉积, 暗示晚三叠世中国东部明显隆升, 华北北缘在早侏罗世中期发育磨拉石和火山岩, 它们大致呈东西向展布, 与燕山运动的关系仍需进一步研究.

三叠纪至侏罗纪末期蒙古-华北地块的北方存在广阔的鄂霍茨克洋. 侏罗纪开始西伯利亚板块向南挤压, 蒙古-鄂霍茨克洋关闭, 留下了从蒙古杭爱山脉延伸到鄂霍茨克乌达海湾长约3000公里的蒙古-鄂霍茨克构造带(Zorin, 1999; Davis等, 2001; 董树文等, 2008). 蒙古-鄂霍茨克洋的闭合及西伯利亚板块向中朝板块的挤压, 形成中国天山、燕山以北地区的共轭走滑断裂系统或称中新生代环西伯利亚陆内构造体系域(张国伟等, 2002; 董树文等, 2008). 因此, 随着西伯利亚板块由北向南俯冲, 鄂霍茨克洋自西向东关闭, 一系列的相关地质作用发生在中国北方侏罗纪.

华北北缘约168~164Ma发育了磨拉石及中酸性岩浆活动. 这套磨拉石如海房沟砾岩、龙门砾岩、万宝组砾岩等在部分地区和下伏地层形成角度不整合. 砾岩中下部常有火山碎屑岩夹层, 暗示了火山活动的开始, 上部砾岩层凝灰质砾石渐增. 砾石通常分选差, 在继承盆地磨圆度较好, 新生盆地呈角砾状. 砾石多来自古老岩层, 多为花岗岩、片麻岩、石英岩、硅质岩、碳酸岩、古老火山岩等, 反映了深部剥蚀, 暗示168Ma之前存在一次构造抬升. 海房沟期后期燕辽地区存在明显的挤压活动, 山地隆升, 湖盆破坏, 发育了偏北向的河流. 161Ma形成了相当于髫髻山组之下的区域性角度不整合面, 随后发生了大规模岩浆活动. 山东三台组和坊子组之间的假整合, 河南东孟村组和义马组之间的假整合, 马凹组和杨树庄之间的假整合, 合肥盆地周公山组和圆筒山组之间的假整合(修申成等, 2003), 都与髫髻山组之下的不整合对应.

中国北方中蒙边境一带发育了大型侏罗纪推覆构造, 其走向和时代与蒙古-鄂霍茨克洋的关闭过程基本相同(郑亚东等, 1990, 1998; 赵越等, 2002). 燕山-阴山地区晚侏罗世在自北向南挤压的构造背景下发生过强烈的推覆-隆升事件, 东西向的大型坳陷带发育巨厚的粗碎屑堆积, 暗示其北侧曾存在与之平行的大规模隆升区(何政军等, 1998). 可见, 中国北方普遍存在中-晚侏罗世构造变形, 与蒙古-鄂霍茨克洋的关闭及碰撞造山活动有密切联系. 鄂尔多斯盆地延安组底部有时分布厚层砾岩(袁效奇等, 2003)可能与燕山运动A1幕对应, 直罗组和延安组之间的假整合(袁效奇等, 2003)可与A2幕对应. 鄂尔多斯盆地北缘发育中-晚侏罗世自北向南的推覆构造和逆冲断层. 石拐盆地在早中侏罗世发生强烈的褶皱变形, 前寒武系岩层逆掩在侏罗系之上, 挤压方向近南北向(张岳桥等, 2007).

西北地区如准噶尔盆地西山窑组的底部有时发育厚层砾岩, 砾石分选度和磨圆度较差, 成分以石英岩、硅质岩、变质岩为主(邓胜徽等, 2010), 可能代表了燕山运动A1幕地壳抬升与剥蚀. 虽然西山窑组未发现火山岩或凝灰岩, 但很可能存在该期火山活动, 如齐古组锆石U-Pb年龄(164.6±1.4)Ma(王思恩和高林志, 2012), 很可能包含了西山窑期捕获锆石. 头屯河组和西山窑组之间存在明显的角度不整合(Eberth等, 2001; 柳永清和李寅, 2001; 邓胜徽等, 2010), 时代约为161.2Ma

(Fang等, 2015), 和燕辽地区髫髻山组之下的不整合面年代吻合. 鄂霍茨克洋呈向东开口的喇叭状, 对西部地区的影响可能较小但时代略早. 另外, 哈萨克斯坦卡拉套地区岩层在白垩纪之前只存在一个角度不整合面, 位于中-晚侏罗世界线附近, 即卡拉巴斯套组呈角度不整合上覆于不同的古生代岩层之上, 其中最新的地层为早侏罗世晚期至中侏罗世(Doludenko和Orlovskaya, 1976). 这样的特征十分类似京西髫髻山组, 而卡拉巴斯套组和髫髻山组在时代上可以完全对应(黄迪颖, 2015). 此不整合面可能也与西伯利亚板块向南俯冲有关.

蒙古-鄂霍茨克构造带东段的海盆关闭和碰撞造山作用主要发生在中-晚侏罗世, 并形成向南逆冲的大规模推覆构造(Zonenshain等, 1990; Khain, 1994). 中国东北兴安岭地区万宝组底部发育磨拉石, 并呈角度不整合覆盖于红旗组之上, 具有165和162Ma两期锆石, 可对应海房沟组早晚两期火山活动. 万宝组岩浆活动与蒙古-鄂霍茨克缝合带演化关系密切(张渝金等, 2018).

辽西地区中生代中晚期地层受到燕山运动A幕的强烈改造, 形成了不整合面并发生了强烈的岩浆活动. 但燕山运动A幕时期辽东地区地层皆整合, 且火山活动很弱. 这验证了燕山运动A幕在燕辽地区源自大致北西方向的挤压, 郯庐断裂的走滑活动消减了应力作用, 因而燕山运动A幕几乎不影响郯庐断裂以东地区. 这也表明在中侏罗世-晚侏罗世早期古太平洋板块向西俯冲并未发生或影响微弱. 郯庐断裂以东的地区普遍缺乏晚侏罗世晚期至早白垩世早期(燕山运动B幕之前)的地层, 暗示了古太平洋板块向西俯冲造成了地势隆升和沉积间断. 同样, 这个作用在郯庐断裂以西地区影响较弱. 可见, 西伯利亚板块向南俯冲及古太平洋板块向西俯冲造成燕山运动A幕向B幕的转换是一个此消彼长、循序渐进的过程, 这一转换大约发生于145~140Ma.

因此, 中国侏罗纪燕山运动可能与西伯利亚板块向南俯冲及蒙古-鄂霍茨克洋关闭存在密切联系, 影响中国北方包括西北和东北在内的广大地区, 由北向南影响逐渐减弱. 蒙古-鄂霍茨克洋的关闭时间主要发生在中-晚侏罗世, 虽然古地磁研究显示其彻底关闭在早白垩世(约130Ma)(Zhao等, 1990; Enkin等, 1992; Gilder和Courtillot, 1997). 日本或东亚大陆边缘发现的中侏罗世含放射虫的复理石增生楔证实古太平洋板块向西俯冲的时间不早于中侏罗世(水谷伸治郎等, 1989; Maruyama等, 1989, 1997; Isozaki, 1997). 以燕山运动B幕为标志白垩纪时期古太平洋板块向西俯冲成为古亚洲大陆东部构造变形及华北克拉通破坏的主导因素. 因此, 燕山运动B幕在中国东部影响强烈且广泛, 自东向西影响减弱. 因此, 本文认为侏罗纪燕山运动主要受西伯利亚板块向南俯冲的控制, 而古太平洋板块向西俯冲的影响较弱, 白垩纪燕山运动为古太平洋板块向西俯冲的表现.

7 中国中生代的东部高原和高山

任纪舜等(1990)最早提出中国中生代东部的高原问题. 邓晋福等(1996, 2000)认为以燕辽地区为代表的中国东部在中生代晚期地壳厚度约为60~70km, 类似现在的青藏高原, 构成了一个宏伟的中生代高原-山脉系统(Niu等, 2004). 埃达克岩的广泛发现被认为是中国东部中生代存在高原的重要证据(张旗等, 2001a, 2001b). 这些岩石的成因及意义存在认识分歧, 可能与加厚的地壳无关(葛小月等, 2002; Ma等, 2015, 2016).

一些作者认为中国东部的高原在印支期就开始抬升, 在晚侏罗世岩石圈巨量减薄之前上升为5000~6000m的高原(董树文等, 2000). 也有作者认为三叠纪-早侏罗世在冀北、辽宁、内蒙南部地区存在东西向的山脉, 以髫髻山期火山喷发为标志, 高原快速崛起, 主要存留时间为165~125Ma, 在早白垩世东部高原的北缘可能存在东西向延伸的相当于现代喜马拉雅山的宏伟高山(张旗等, 2008).

中-晚侏罗世之交燕辽地区发育了燕辽生物群早期组合道虎沟生物群. 海房沟期后期地势不断抬高, 湖泊系统被破坏, 至髫髻山期发生大规模火山活动, 燕辽生物群发生重要转折, 发展为继承性的玲珑塔生物群, 代表的燕辽生物群晚期组合(黄迪颖, 2015, 2016). 以昆虫化石为例, 准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地都发现过燕辽生物群的分子. 在中晚侏罗世中国西北邻区相近纬度还存在两个重要的特异埋藏生物群, 即蒙古西南部的Shar Teg生物群和哈萨克斯坦的Karatau生物群(Szwedo和Żyła, 2009; Ponomarenko等, 2014), 时代为中侏罗世晚期至晚侏罗世早期, 可归入广义的燕辽生物群. 三者之间生物面貌十分相似, 存在大量的共有

属, 甚至相似的物种. 说明当时中国燕辽地区至中亚之间存在广泛的生物交流和相似的气候条件, 并不支持中-晚侏罗世燕辽地区存在显著高原的假说.

从燕辽生物群向热河生物群的过渡大致发生于土城子期, 不同生物门类演化交替的时代不同(黄迪颖, 2015). 早白垩世热河生物群以燕辽地区为核心广布于兴安岭地区、西北、华东及江南地区. 因此, 无论“东部高原”的北界(张旗等, 2007)如何移动, 都不能否认早白垩世中国北方(自东西向)及东部(由北向南)存在广泛的生物交流. 因此, 在热河生物群时期中国东部存在宏伟高原或东西向的宏伟高山并无充分依据. 早白垩世中国北方发现的冰筏和冰川泥石流沉积(王东坡等, 1996; 程守田等, 2002)和较低的海拔并不矛盾, 更多的证据证明热河生物群时期的气温较为寒冷(Amiot等, 2011; Xu X等, 2012).

曾有作者根据道虎沟未发现蛇蛉而推测附近没有高山而地势平坦(谭京晶和任东, 2002). 实际上, 蛇蛉在道虎沟较为常见(黄迪颖, 2016). 现代蛇蛉一般生活在寒冷的森林, 在低纬度地区则生活于1000m以上的高山(Grimaldi和Engel, 2005). 通常认为道虎沟生物群所处时期气候温暖湿润, 因而蛇蛉的大量出现暗示了山脉的存在. 热河生物群的蛇蛉十分常见, 暗示了偏冷的气候和可能的山地环境. 道虎沟还发现了一类特殊的螽蝉(Liu等, 2016), 与之接近的现代类型生活在塔斯马尼亚的高海拔地区, 它们夏天生活的海拔约为1600m, 冬天约为800m(Evans, 1941). 道虎沟生物群的植物与西山窑组和延安组十分类似, 但其晚期化石层中松柏类植物十分繁盛, 且苔藓类丰富, 也佐证了后期的山地环境. 邓胜徽等(2017)认为侏罗纪气温比现代高, 而燕辽地区的古地理位置自侏罗纪至今变化不大, 因此道虎沟生物群的古生态环境可能略高于现代相似类型的生境, 如达到2000m左右.

另外, 鄂尔多斯盆地缺乏中生代锆石, 如延安组最年轻的碎屑锆石年龄集中在早-中三叠世(赵红格等, 2015; 郭佩等, 2017), 直罗组出现了165Ma的最年轻锆石(陈印等, 2017), 可以佐证华北北缘中侏罗世中晚期的火山活动和地形隆升, 即165Ma的锆石在海房沟期前期极为常见, 海房沟期晚期隆升后岩层才开始剥蚀并向西充填.

晚三叠世中国东部地区(华北东部及华南北缘)发生明显的隆升, 在古秦岭-古大别山以北形成显著的山地-高原, 从而普遍缺乏早侏罗世早期沉积. 在山东一带海拔最高, 剥蚀持久, 普遍缺乏晚三叠世-早侏罗世地层; 边缘地带如北缘的燕辽地区、南缘长江中下游一带地势相对较低, 局部发育晚三叠世及早侏罗世晚期沉积. 这次广泛的隆升可能与晚三叠世-早侏罗世华北地块向东南方的华南地块俯冲有关(Li等, 2017b). 早侏罗世中期东部高原的南缘和北缘强烈剥蚀形成磨拉石沉积, 在南缘以象山群及防虎山组底部的砾岩, 在北缘以杏石口组砾岩为代表, 随后发育岩浆活动, 相当于兴隆沟组、南大岭组. 山西宁武-静乐盆地永定庄组中部的凝灰岩夹层也应与之相当, 年龄为(179.2±0.79)Ma (Li Z等, 2014). 这套以玄武岩和安山岩为代表的双峰式火山岩大约发育于179~173Ma. 火山岩之上发育含煤地层, 即北票组、窑坡组、大同组. 大约在170~168Ma受西伯利亚板块向南俯冲及蒙古-鄂霍兹克洋闭合的影响, 中国北方特别是华北北缘地层发生了挤压抬升. 168~164Ma华北北缘发生强烈剥蚀, 发育磨拉石沉积. 163~161Ma华北北缘再次发生挤压隆升, 随后发生髫髻山期大规模火山活动. 土城子组中下部的砾岩具有磨拉石的性质, 是陆内造山过程的沉积响应(孙立新等, 2007). 土城子期末期存在强烈挤压活动而形成燕山运动B幕, 从而华北北部及东北地区盆地向伸展背景转化(孟庆任等, 2002; 刘少峰等, 2004).

综上所述中国燕辽地区早侏罗世早期为山地-高原环境; 早侏罗世中期发生强烈剥蚀, 形成磨拉石建造; 早侏罗世晚期-中侏罗世早期发育煤系地层; 170~168Ma隆升并强烈剥蚀, 随后形成燕山期盆山系统; 163~161Ma再次挤压抬升; 侏罗纪晚期、白垩纪初期不断剥蚀, 形成干旱的低海拔高原; 136Ma之前再次挤压抬升, 之后裂谷盆地广泛发育. 以上地质作用对应了门头沟植物群后期的地形隆升, 道虎沟生物群生境由低到高发展, 玲珑塔生物群的山地环境, 土城子期的低海拔高原, 至热河生物群时期燕辽地区仍然发育广袤的山地. 但总体来看侏罗纪初至早白垩世燕辽地区海拔呈逐渐降低的趋势, 尽管中间存在三次挤压抬升(图4).

8　燕辽生物群

燕辽生物群是中国侏罗纪最重要的陆生生物群,

保存了大量特异埋藏古生物化石, 包括昆虫、甲壳类、蛛形类、多足类、软体动物、鱼类、蝾螈、蜥蜴、翼龙、恐龙、哺乳动物、植物、孢粉、真菌等(黄迪颖, 2016). 燕辽生物群源自洪友崇(1983)建立的燕辽昆虫群, 指海房沟组及相当层位的昆虫化石, 分布于黄河以北, 西达新疆至中亚地区, 以辽西北票海房沟组和冀北滦平周营子"九龙山组"(应为龙门组)昆虫为代表. 黄迪颖(2015)将燕辽生物群划分为以道虎沟生物群为代表的早期组合(石河子阶)和以玲珑塔生物群为代表的晚期组合(玛纳斯阶). 道虎沟化石层底部砾岩段已出现了一些代表性生物类型, 且下部植物组合与窑坡组有继承性, 因而燕辽生物群的起源可追溯到更古老的地层(黄迪颖等, 2015).

中国侏罗纪中晚期发育了著名的*Coniopteris-Phoenicopsis*(锥叶蕨-拟刺葵)植物群, 它在早侏罗世中期(永丰阶中晚期至硫磺沟阶早期)萌芽, 中侏罗世早期(硫磺沟阶晚期)初具规模, 中侏罗世中晚期-晚侏罗世初期(石河子阶)达到鼎盛, 晚侏罗世早期(玛纳斯阶)进一步发展, 晚侏罗世中期(约155Ma)随着北半球干旱事件的到来而快速消亡. 植物群和动物的协同演化及相互关系在生命进化史中具有举足轻重的作用, 因而*Coniopteris-Phoenicopsis*植物群的发展史伴随了燕辽生物群的萌生、发展、繁盛、扩散和衰亡, 其本身也是燕辽生物群的重要组成部分. 因此, 在中侏罗世之前就已出现了燕辽生物群的早期分子, 中侏罗世早期已发育了生物群的基本特征, 燕山运动A1幕(168Ma)后伴随新的生态域的出现以及局部环境的骤变产生了多样性极高的生物组合(道虎沟生物群), 并在A2幕(161Ma)前后随地形地貌的剧变及大规模火山活动, 生物群发生重大转折并快速扩散(西迁), 在当地形成继承性生物群(玲珑塔生物群), 随着持续干旱气候的来临燕辽生物群在晚侏罗世中期快速衰亡(图4), 部分孑遗类群南迁. 而燕辽地区海房沟期、髫髻山期频繁火山活动产生的大量细腻火山灰是生物群得以精美保存的关键.

燕辽生物群以冀北、辽西、内蒙东南部地形多变的造山带地区的山地-湖泊-森林环境为核心分布于中国北方广大地区, 向南展布于古昆仑山-古秦岭-古大别山一线, 如含山生物群(曹正尧, 1985; 林启彬, 1985; 沈炎彬, 1985; 陆伍云等, 1985), 甚至可达古大别山以东的浙江和福建沿海地区; 向东濒临古太平洋; 向北延伸至古鄂霍茨克洋沿岸, 从目前化石记录看自流井三饰叶肢介群的分布范围向北至少可达满洲里中-蒙、中-俄边境及蒙古东南部一带(宝音乌力吉, 2011; Li G等, 2014); 向西至少到达哈萨克斯坦一带, 以卡拉套生物群为代表的晚期组合尤为发育. 广义的燕辽生物群可以包含蒙古共和国的Shar Teg生物群和哈萨克斯坦的Karatau生物群, 根据生物群与燕山运动A幕不整合面的关系分析, Shar Teg生物群相当于道虎沟生物群, 而Karatau生物群相当于玲珑塔生物群(黄迪颖, 2015, 2016). 道虎沟生物群和玲珑塔生物群核心化石层时代相距约5Ma, 但由于二者之间发生剧烈的构造运动和猛烈的火山爆发, 至今并未发现存在相同的生物种类. Shar Teg生物群和Karatau生物群则存在多类相同的昆虫, 反映出相对平静的地质环境下的生物群繁衍.

燕辽生物群生物组合源自3部分: (1) 华北地区土著类型; (2) 欧洲早侏罗世生物群的东迁; (3) 华北、华南板块碰撞后的生物融合. 道虎沟生物群中具有很多欧洲早侏罗世昆虫群的亲缘类型(黄迪颖, 2015), 反映了板块拼合后欧洲早侏罗世生物群的东扩, 并在中亚地区残留了若干早-中侏罗世化石地点. 含山生物群代表了华南华北生物区系的融合, 如叶肢介群既存在北方三饰叶肢介的分子, 也包含南方的特有类型, 是燕辽生物群所达的南缘地区之一. 燕辽生物群的扩张与迁移对东亚中生代晚期生物区系发展极为重要. 直至早白垩世末期(Albian晚期)缅甸琥珀中依然记录了很多道虎沟生物群的特有昆虫类群, 它们却从未在热河生物群发现过, 代表了燕辽生物群的孑遗分子(黄迪颖, 2015).

9 存在问题和工作展望

中国侏罗系海相地层分布局限, 但菊石、腕足类、双壳类等生物地层学的研究较为深入, 虽然尚不具备建阶条件, 但青藏地区菊石序列基本可与欧洲标准剖面菊石带进行对比. 由于条件限制中国学者对侏罗纪海陆交互相地层古生物学进行了不懈研究, 但中国海相-陆相侏罗系的对比尚无系统的解决方案, 将成为今后研究的要点之一, 如西藏、黑龙江、云南、广东等地区相关地层.

中国陆相侏罗系是研究中国侏罗纪地层和生物群的重点, 精确的地层划分对比是开展沉积学、构造地

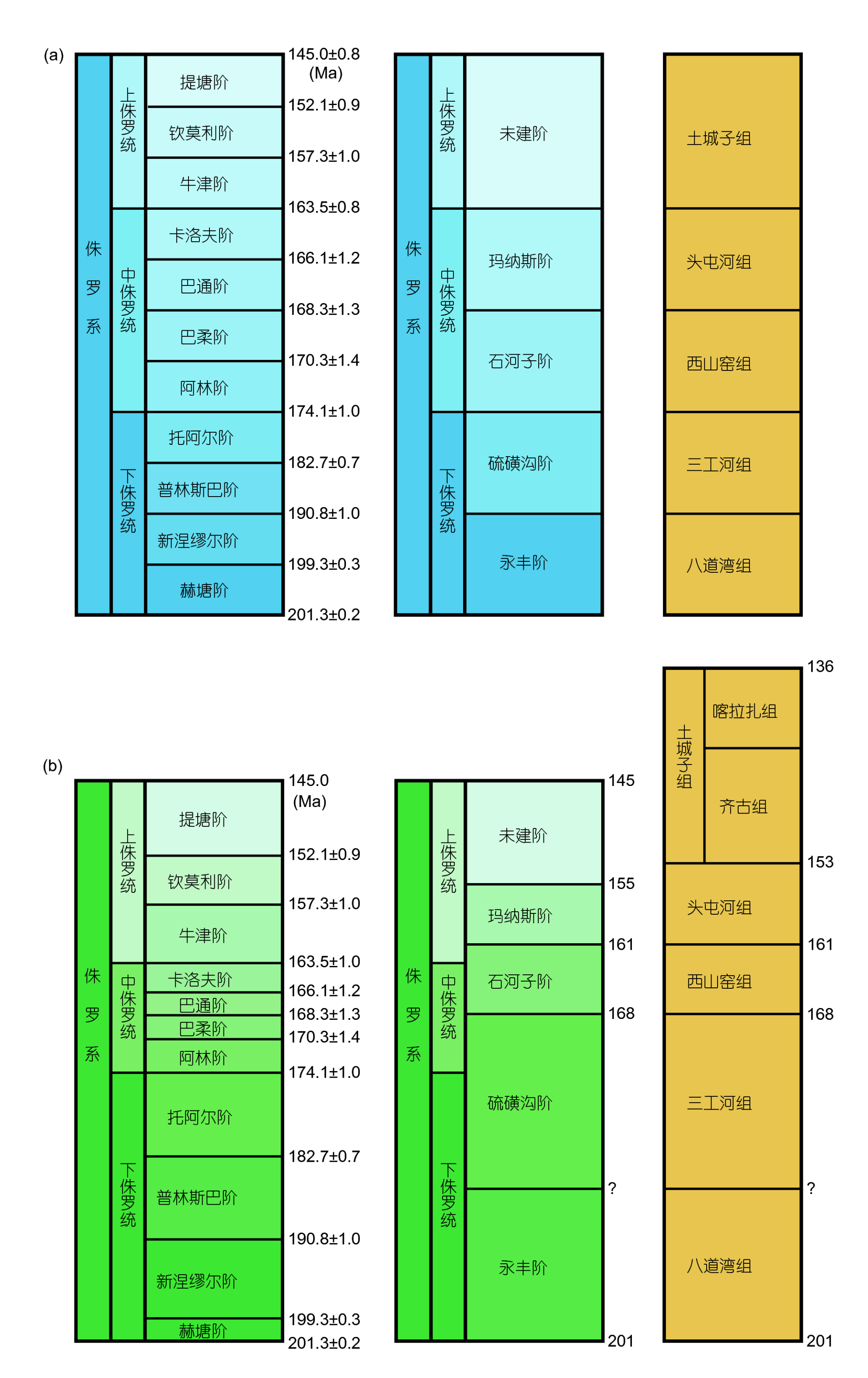


图 5 中国地层表(2014)侏罗系陆相阶(a)和本文侏罗系陆相阶的对比(b)

质、地球化学、同位素年代学研究的基础. 本文综合前人工作及研究新进展对侏罗-白垩系界线提出了新观点, 并分析了侏罗纪第5阶、玛纳斯阶、石河子的底界年龄, 但硫磺沟阶的底界仍然存在很大疑问, 缺乏精确的海相-陆相地层对比依据及同位素年代学数据, 而目前孢粉研究还不足以解决相关问题. 侏罗纪早期沉积在中国中东部普遍缺失, 因而具有连续沉积的新疆、青海等地侏罗系盆地的地层古生物学深入研究将成为解决诸多难题的关键.

相对于全国地层委员会《中国地层表》编委会(2014)编著的中国地层表, 本文结合近年来的同位素年代学和生物地层学新进展和新分析进行了大胆的改进, 增加下侏罗统永丰阶和硫磺沟阶的沿限, 认为硫磺沟阶顶界已位于中侏罗统中部, 且中、上侏罗统各阶位置大幅上移. 未定的第5阶对应晚侏罗世中晚期(155~145Ma), 相当于辽西地区髫髻山组近顶部至土城子下部(图5). 建议在新疆准噶尔盆地以齐古组为基础建立第5阶, 以保证中国侏罗系陆相阶的连续性.

致谢 感谢邓胜徽、沙金庚、曹美珍、沈炎彬、刘少峰、孟庆任、武国利、张以春、姜宝玉、马强、王亚琼和房亚男等提供宝贵文献资料或建设性的讨论; 武国利提供珍贵野外照片; 付衍哲、蔡晨阳、苏祎桐、孙捷等提供诸多文献和绘图协助, 在此表示衷心感谢. 感谢两位评审人提出的宝贵建议. 本文为IGCP632项目的研究成果.

参考文献

宝音乌力吉, 苏茂荣, 谭强, 包凤琴. 2011. 内蒙古满洲里西中蒙边境一带中侏罗统万宝组的厘定. 地质与资源, 20: 12–15

蔡习尧, 张智礼, 李启剑, 李越. 2010. 宁夏六盘山盆地海参1井上侏罗统-上白垩统微体化石组合. 微体古生物学报, 27: 60–66

曹正尧. 1985. 苏皖象山群下部一些本内苏铁目化石的表皮构造研究. 古生物学报, 37: 283–294

曹正尧. 1998. 安徽含山含山组植物化石及时代. 古生物学报, 1985, 24: 275–283

陈芬, 窦亚伟, 黄其胜. 1984. 北京西山侏罗纪植物群. 北京: 地质出版社. 1–136

陈海燕, 张运强, 张计东, 范永贵, 彭芊芃, 连青, 孙立萍, 于龙. 2014. 冀北承德盆地侏罗系九龙山组凝灰岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄与地球化学特征. 地质通报, 33: 966–973

陈义贤, 陈文寄. 1997. 辽西及邻区中生代火山岩——年代学、地球化学和构造背景. 北京: 地震出版社. 141–201

陈印, 冯晓曦, 陈路路, 金若时, 苗培森, 司马献章, 苗爱生, 汤超, 王贵, 刘忠仁. 2017. 鄂尔多斯盆地东北部直罗组内碎屑锆石和铀矿物赋存形式简析及其对铀源的指示. 中国地质, 44: 1190–1206

陈毓川, 王登红, 朱裕生, 徐志刚, 任纪舜, 翟裕生, 常印佛, 汤中立, 裴荣富, 滕吉文, 邓晋福, 胡云中, 任天祥, 沈保丰, 王世称, 肖克炎, 彭润民, 钱壮志, 梅燕雄, 杜建国, 施俊法, 张晓华, 朱明玉, 徐珏, 薛春纪. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价. 北京: 地质出版社. 1002

程守田, 李志德, 黄焱球, 葛利刚, 刘星. 2002. 鄂尔多斯东北缘早白垩世冰川泥石流沉积的发现及其成因证据. 地质科技情报, 21: 36–40

邓晋福, 苏尚国, 刘翠, 赵国春, 赵兴国, 周肃, 肖庆辉, 吴宗絮, 耿科. 2007. 华北太行-燕山-辽西地区燕山期(J-K)造山过程与成矿作用. 现代地质, 21: 232–240

邓晋福, 赵国春, 赵海玲, 罗照华, 戴圣潜, 李凯明. 2000. 中国东部燕山期火成岩构造组合与造山深部过程. 地质论评, 46: 41–48

邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 吴宗絮, 罗照华. 1996. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社. 1–110

邓胜徽, 卢远征, 樊茹, 泮艳红, 程显胜, 付国斌, 王启飞, 潘华璋, 沈炎彬, 王亚琼, 张怀春, 贾承凯, 段文哲, 方琳浩. 2010. 新疆北部的侏罗系. 合肥: 中国科技大学出版社. 1–219

邓胜徽, 卢远征, 赵怡, 樊茹, 王永栋, 杨小菊, 李鑫, 孙柏年. 2017. 中国侏罗纪古气候分区与演变. 地学前缘, 24: 106–142

邓胜徽, 王思恩, 杨振宇, 卢远征, 李鑫, 胡清月, 安纯志, 席党鹏, 万晓樵. 2015. 新疆准噶尔盆地中、晚侏罗世多重地层研究. 地球学报, 36: 559–574

邓胜徽, 姚益民, 叶得泉, 陈丕基, 金帆, 张义杰, 许坤, 赵应成, 袁效奇, 张师本. 2003. 中国北方侏罗系(I): 地层总述. 北京: 石油工业出版社. 1–399

董树文, 吴锡浩, 吴珍汉, 邓晋福, 高锐, 王成善. 2000. 论东亚大陆的构造翘变——燕山运动的全球意义. 地质论评, 46: 8–13

董树文, 张岳桥, 陈宣华, 龙长兴, 王涛, 杨振宇, 胡健民. 2008. 晚侏罗世东亚多向汇聚构造体系的形成与变形特征. 29: 306–317

董树文, 张岳桥, 龙长兴, 杨振宇, 季强, 王涛, 胡建民, 陈宣华. 2007. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释. 地质学报, 81: 1449–1461

段淑英. 1989. 斋堂植物群的特征及其地质时代. 见: 崔广振, 石宝珩, 编. 中国地质科学探索. 北京: 北京大学出版社. 84–91

段冶, 郑少林, 胡东宇, 张立君, 王五力. 2009. 辽宁建昌玲珑塔地区中侏罗世地层与化石初步报道. 世界地质, 28: 143–147

樊隽轩, 陈冬阳, 侯旭东. 2016. 《国际年代地层表》(2016/04版)、配色方案及其应用. 地层学杂志, 40: 341–348

葛小月, 李献华, 陈志刚, 李伍平. 2002. 中国东部燕山期高Sr低Y型中酸型火成岩的地球化学特征及成因: 对中国东部地壳厚度的制约. 科学通报, 47: 474–480

顾知微. 1962. 中国的侏罗系和白垩系. 全国地层会议学术报告汇编. 北京: 科学出版社. 1–84

郭佩, 刘池洋, 韩鹏, 王建强, 邓煜, 王文青. 2017. 鄂尔多斯盆地西南缘下-中侏罗统碎屑锆石U-Pb年代学及其地质意义. 大地构造与成矿学, 41: 892–907

河北省地质矿产局. 1996. 河北省岩石地层. 北京: 中国地质大学出版社. 146

何政军, 李锦轶, 牛宝贵, 任纪舜. 1998. 燕山-阴山地区晚侏罗世强烈推覆-隆升事件及沉积响应. 地质论评, 44: 407–418

洪友崇. 1983. 北方中侏罗世昆虫化石. 北京: 地质出版社. 223

侯佑堂, 勾韵娴, 陈德琼, 主编. 2002. 中国介形类化石(第一卷). 北京: 科学出版社. 1090

黄迪颖. 2015. 燕辽生物群和燕山运动. 古生物学报, 54: 501–546

黄迪颖. 2016. 道虎沟生物群. 上海: 上海科技出版社. 332

黄迪颖, 蔡晨阳, 蒋佳倩, 苏祎桐, 廖焕宇. 2015. 道虎沟化石层及其底部砾岩段化石记录. 古生物学报, 54: 351–357

黄汲清. 1954. 中国主要地质构造单位. 北京: 地质出版社. 1–162

黄汲清. 1960. 中国地质构造基本特征的初步总结. 地质学报, 40: 1–31

黄嫔. 1993. 新疆准噶尔盆地西北缘早侏罗世三工河组孢粉组合. 微体古生物学报, 10: 77–88

黄嫔. 2000. 南京北象山中侏罗世孢粉化石的发现. 微体古生物学报, 17: 457–469

黄嫔. 2006. 新疆乌鲁木齐郝家沟剖面郝家沟组和八道湾组孢粉组合及地层意义. 微体古生物学报, 23: 235–274

黄嫔, 李建国. 2007. 新疆玛纳斯河畔红沟剖面西山窑组和头屯河组孢粉组合及地层意义. 微体古生物学报, 24: 170–193

黄其胜. 1983. 安徽省沿江一带早侏罗世象山植物群. 地球科学, 20: 25–36

季强, 柳永清, 姬书安, 陈文, 吕君昌, 尤海鲁, 袁崇喜. 2006. 论中国陆相侏罗系-白垩系界线. 地质通报, 25: 336–339

姜宝玉, 程显圣, 邓胜徽, 沙金庚. 2008a. 中国陆相中侏罗统头屯河阶综合研究报告. 见: 全国地层委员会, 编. 中国主要断代地层建阶研究报告(2001–2005). 北京: 地质出版社. 115–119

姜宝玉, 程显圣, 邓胜徽, 沙金庚. 2008b. 中国陆相中侏罗统西山窑阶综合研究报告. 见: 全国地层委员会, 编. 中国主要断代地层建阶研究报告(2001–2005) . 北京: 地质出版社. 120–125

姜宝玉, 程显圣, 邓胜徽, 沙金庚. 2008c. 中国陆相下侏罗统三工河阶综合研究报告. 见: 全国地层委员会, 编. 中国主要断代地层建阶研究报告(2001–2005) . 北京: 地质出版社. 126–130

姜宝玉, 程显圣, 邓胜徽, 沙金庚. 2008d. 中国陆相下侏罗统八道湾阶综合研究报告. 见: 全国地层委员会, 编. 中国主要断代地层建阶研究报告(2001–2005) . 北京: 地质出版社. 131–137

鞠魁祥. 1987. 江苏南部下、中侏罗统的划分. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 8: 33–44

李代芸. 1987. 云南侏罗系、白垩系的划分及其界线. 云南地质, 6: 211–226

李海龙, 张宏仁, 渠洪杰, 王猛. 2014. 燕山运动"绪动/A幕"的本意及其锆石U-Pb年代学制约. 地质论评, 60: 1026–1042

李振宏, 杨永恒, 渠洪杰, 公王斌. 2015. 晋东北地区侏罗纪地层的划分、时代厘定及地层意义. 中国地质, 42: 1046–1058

辽宁省地质矿产勘察开发局. 1997. 辽宁省岩石地层. 北京: 中国地质大学出版社. 247

林妙琴, 李建国, 彭俊刚. 2016. 辽西北票四合屯早白垩世土城子组三段孢粉组合及其意义. 微体古生物学报, 33: 261–271

林启彬. 1985. 安徽含山含山组昆虫化石. 古生物学报, 24: 300–310

刘健, 赵越, 柳小明. 2006. 冀北承德盆地髫髻山组火山岩的时代. 岩石学报, 22: 2617–2630

刘健, 赵越, 柳小明, 刘晓文. 2007. 燕山褶断带下板城盆地杏石口组沉积特征及其构造意义. 岩石学报, 23: 640–654

刘少峰, 李忠, 张金芳. 2004. 燕山地区中生代盆地演化及构造体制. 中国科学D辑: 地球科学, 34: 19–31

刘少峰, 林承发, 刘晓波, 庄其天. 2018. 冀北张家口地区同构造沉积过程及其与褶皱-逆冲作用耦合. 中国科学: 地球科学, 48: 705–731

刘宪亭. 1988. 北京西山杏石口组的鱼化石. 古脊椎动物学报, 26: 278–286

柳永清, 李寅. 2001. 准噶尔盆地侏罗系露头层序地层及沉积学特征. 地球学报, 22: 49–54

柳永清, 刘燕学, 姬书安, 杨之青. 2006. 内蒙古宁城和辽西凌源热水汤地区道虎沟生物群与相关地层SHRIMP锆石U-Pb定年及有关问题的讨论. 科学通报, 51: 2273–2282

卢辉楠. 1995. 准噶尔盆地的侏罗系. 地层学杂志, 19: 180–190

卢远征, 邓胜徽. 2005. 新疆准噶尔盆地南缘郝家沟组和八道湾组底部孢粉组合及三叠系-侏罗系界线. 地质学报, 79: 15–27

陆伍云, 李玉发, 周光新, 陈才弟, 姚贵和, 沈炎彬, 曹正尧, 林启彬, 黎文本. 1985. 安徽巢湖地区的侏罗系. 地层学杂志, 9: 180–185

马强. 2013. 辽西三叠纪-侏罗纪火山岩: 华北北缘东段下地壳再造与克拉通破坏. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学. 1–108

孟庆任, 胡健民, 袁选俊, 靳久强. 2002. 中蒙边界地区晚中生代伸展盆地的结构、演化和成因. 地质通报, 21: 224–231

米家榕, 张川波, 孙春林, 罗桂昌, 孙跃武. 1993. 中国环太平洋带北段晚三叠世地层古生物及古地理. 北京: 科学出版社. 1–219

米家榕, 张川波, 孙春林, 宁岩, 姚春青. 1984. 北京西山杏石口组发育特征及其时代. 地质学报, 4: 273–283

庞其清. 1982. 河北燕山地区中、上侏罗统介形虫化石及其地层意义. 河北地质学院院报, 1-2: 89–110

钱丽君, 白清昭, 熊存卫, 吴景均, 徐茂钰, 何德长, 王赛仪. 1987. 中国南方中生代含煤地层. 北京: 煤炭工业出版社. 322

全国地层委员会《中国地层表》编委会. 2014. 中国地层表. 北京: 地质出版社

任纪舜. 1989. 中国东部及邻区大地构造演化的新见解. 中国区域地

质, 4: 289–300
任纪舜, 陈延愚, 牛宝贵, 刘志刚, 刘凤仁. 1990. 中国东部大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京: 地质出版社. 1–205
邵济安, 杨蔚. 2008. 关于辽西北票地区兴隆沟组火山岩时代的再认识. 地质通报, 27: 912–916
邵济安, 杨蔚. 2011. 关于"辽宁北票兴隆沟火山岩的野外产状、岩石成因及地质意义"一文的辩正. 地质学报, 85: 379–382
沈炎彬. 1985. 安徽含山侏罗纪叶肢介. 古生物学报, 24: 293–298
沈炎彬, 陈丕基. 1984. 辽西中侏罗统土城子组叶肢介化石. 中国科学院南京地质古生物研究所丛刊, 9: 309–326
水谷伸治郎, 邵济安, 张庆龙. 1989. 那丹哈达地体与东亚大陆边缘中生代构造的关系. 地质学报, 60: 204–216
四川省地矿局. 1997. 四川省岩石地层. 北京: 中国地质大学出版社. 417
斯行健, 周志炎. 1962. 中国中生代陆相地层. 全国地层会议学术报告汇报. 北京: 科学出版社. 1–180
苏德英, 李有桂. 1989. 中国东部侏罗-白垩系的界线划分与相分析. 见: 中国地质科学院地质研究所地层组, 著. 中国东部构造–岩浆演化及成矿规律(二): 中国东部侏罗纪-白垩纪古生物及地层. 北京: 科学出版社. 106–142
孙东立, 沙金庚, 何国雄, 杨群, 何承全, 章炳高, 潘华璋. 2000. 海相侏罗系. 见: 中国科学院南京地质古生物研究所, 主编. 中国地层研究二十年(1979–1999). 合肥: 中国科学技术大学出版社. 283–308
孙立新, 赵凤清, 王惠初, 谷永昌, 冀世平. 2007. 燕山地区土城子划分、时代与盆地性质探讨. 地质学报, 81: 445–453
孙跃武, 刘鹏举, 冯君. 1996. 河北承德上谷早侏罗世南大岭组植物化石. 长春地质学院学报, 26: 9–15
Swisher III C C, 汪筱林, 周忠和, 王元青, 金帆, 张江永, 徐星, 张福成, 王原. 2001. 义县组同位素年代新证据及土城子组$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄测定. 科学通报, 46: 2009–2012
谭京晶, 任东. 2002. 内蒙古宁城中侏罗世九龙山组昆虫群落生态的初步研究. 动物分类学报, 27: 428–434
万晓地. 1987. 安庆地区的中、下侏罗统. 地层学杂志, 11: 187–193
万晓樵, 李罡, 黄清华, 席党鹏, 陈丕基. 2013. 中国白垩纪陆相阶的划分与对比. 地层学杂志, 37: 457–471
汪洋, 李家振, 孙善平, 邓晋福. 2001. 北京西山髫髻山组火山岩Sm-Nd等时线年龄初步研究. 北京地质, 13: 18–20
汪洋, 孙金声, 邱刚. 1995. 北京西山早侏罗世蔡家岭组火山岩岩石学特征及其成因. 北京地质, 4: 27–33
王东坡, 张立平, 刘立, 计桂霞, 高福红, Frakes L A. 1996. 松辽盆地白垩纪冰筏沉积的发现及其地质意义. 长春地质学院院报, 26: 382–387
王思恩. 1985a. 新疆侏罗纪和白垩纪的叶肢介化石. 北京: 地质出版社. 地层古生物论文集, 12: 1–21
王思恩. 1985b. 中国地层11: 中国的侏罗系. 北京: 地质出版社. 350
王思恩. 1998. 中国北部陆相侏罗系与英国海陆交互相侏罗系的对比研究——兼论中国北部侏罗系的划分与对比. 地质学报, 72: 11–20
王思恩. 2014. 三饰叶肢介科(Triglyptidae fam. nov.)的建立及其在叶肢介演化、地层划分对比上的意义. 古生物学报, 53: 486–496
王思恩, 高林志. 2012. 新疆准噶尔盆地齐古组侏罗系凝灰岩SHRIMP锆石的U-Pb年龄. 地质通报, 31: 503–509
王思恩, 高林志, 万晓樵, 宋彪. 2013. 辽西-冀北地区土城子组的地质时代、年龄及其国际地层对比. 地质通报, 32: 1673–1690
王思恩, 季强. 2008. 中国陆相上侏罗统土城子阶综合研究报告. 见: 全国地层委员会, 编. 中国主要断代地层建阶研究报告(2001–2005). 北京: 地质出版社. 105–114
王思恩, 李罡. 2008. 冀北、辽西地区上侏罗统土城子组的新叶肢介化石. 古生物学报, 47: 319–325
王思恩, 张志诚, 姚培毅, 刘桂芳, 于青珊. 1994. 中国侏罗-白垩纪含煤地层与聚煤规律. 北京: 地质出版社. 209
王五力, 张宏, 张立君, 郑少林, 杨芳林, 李之彤, 郑月娟, 丁秋红. 2004. 土城子阶、义县阶标准地层剖面及其地层古生物、构造-火山作用. 北京: 地质出版社. 514
王永栋, 付碧宏, 谢小平, 黄其胜, 李奎, 李罡, 刘兆生, 喻建新, 泮燕红, 田宁, 蒋子堃. 2010. 四川盆地陆相三叠系与侏罗系. 合肥: 中国科技大学出版社. 178
王泽九, 黄枝高, 姚建新, 马秀兰. 2014. 中国地层表及说明书的特点与主要进展. 地球学报, 35: 271–276
卫民. 1984. 四川晚三叠世和侏罗纪介形类. 见: 四川盆地陆相中生代地层古生物编写组. 四川盆地陆相中生代地层古生物. 成都: 四川人民出版社. 346–364
谢家荣. 1928. 南京钟山地质与首都之井水关系. 中国地质学会志, 7: 139–149
谢家荣. 1937. 北平西山地质构造概说. 地质论评, 2: 392–394
邢德和, 张立东, 郭胜哲, 张长捷, 彭艳东, 贾斌, 陈树旺, 丁秋红, 郑月娟. 2001. 辽西金岭寺-羊山盆地北部土城子组层序地层特征及盆地演化. 中国地质, 28: 1–12
修申成, 姚益民, 陶明华, 谢献德, 孔凡军, 陈金华, 王蓉, 李经荣, 边雪梅, 崔俊峰, 何明喜, 吴健平, 2003. 中国北方侏罗系(VI)华北地层区. 北京: 石油工业出版社. 1–165
许欢, 柳永清, 旷红伟, 刘燕学, 彭楠, 许欢, 董超, 陈军, 刘海, 徐加林, 薛沛霖. 2013. 华北晚侏罗世-早白垩世风成砂沉积及其古地理和古生态学意义. 古地理学报, 15: 11–30
许欢, 柳永清, 旷红伟, 彭楠. 2014. 华北北部土城子组时代及中国陆相侏罗-白垩系界线探讨. 地学前缘, 21: 203–215
许坤, 杨建国, 陶明华, 梁鸿德, 赵传本, 李荣辉, 孔慧, 李瑜, 传彪, 彭维松. 2003. 中国北方侏罗系(VII)东北地层区. 北京: 石油工业出版社. 261
徐仁. 1979. 中国晚三叠世宝鼎植物群. 北京: 科学出版社. 130
徐新, 陈川, 丁天府, 刘兴义, 李华芹. 2008. 准噶尔西北缘早侏罗世

玄武岩的发现及其地质意义. 新疆地质, 26: 9–16
杨甫, 陈刚, 章辉若, 侯斌, 张甲明, 丁超, 胡延旭, 雷盼盼. 2013. 准噶尔盆地东北部DB1井中生界碎屑锆石LA-ICP-MS U-Pb定年. 兰州大学学报(自然科学版), 49: 313–319
杨杰. 1957. 北京西山髫髻山统以前的酸性火山岩. 地质论评, 17: 161–179
叶春辉, 勾韵娴, 侯佑堂, 曹美珍. 1977. 云南中、新生代介形类动物群. 见: 中国科学院南京地质古生物研究所. 云南中生代化石(下册). 北京: 科学出版社. 153–330
叶良辅. 1920. 北京西山地质志. 地质专报, 甲种(1): 1–92
阴家润. 2005. 西藏北部安多地区中侏罗统(巴通阶-卡洛夫阶)菊石. 古生物学报, 44: 1–16
袁效奇, 傅智雁, 王喜富, 贺静, 解丽琴, 刘绥保. 2003. 中国北方侏罗系(V)鄂尔多斯地层区. 北京: 石油工业出版社. 1–162
云南省地质矿产局. 1996. 云南省岩石地层. 北京: 中国地质大学出版社. 366
翟明国, 孟庆任, 刘建明, 侯泉林, 胡圣标, 李忠, 张宏福, 刘伟, 邵济安, 朱日祥. 2004. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨. 地质前缘, 11: 285–297
张国伟, 董云鹏, 裴先治, 陈亮. 2002. 关于中新生代环西伯利亚陆内构造体系域问题. 地质通报, 21: 198–201
张宏, 王明新, 柳小明. 2008a. LA-ICP-MS测年对辽西-冀北地区髫髻山组火山岩上限年龄的限定. 科学通报, 53: 1815–1824
张宏, 韦忠良, 柳小明, 李栋. 2008b. 冀北-辽西地区土城子组的LA-ICP-MS测年. 中国科学D辑: 地球科学, 38: 960–970
张宏, 袁洪林, 胡兆初, 柳小明, 第五春荣. 2005. 冀北滦平地区中生代火山岩地层锆石U-Pb测年及启示. 地球科学, 30: 707–720
张宏仁. 2016. “燕山运动”的分期及几个关键问题. 地质学报, 90: 2176–2180
张宏仁, 张永康, 蔡向民, 渠洪杰, 李海龙, 王猛. 2013. “燕山运动”的“绪动”——燕山事件. 地质学报, 87: 1779–1790
张璐瑾. 1983. 新疆北部八道湾组地层时代问题. 中国科学, 3: 366–374
张旗, 金惟俊, 王元龙, 李承东, 贾秀勤. 2007. 晚中生代中国东部高原北界探讨. 岩石学报, 23: 689–700
张旗, 钱青, 王二七, 王焰, 赵太平, 郝杰, 郭光军. 2001a. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示. 地质科学, 36: 248–255
张旗, 王焰, 钱青, 杨进辉, 王元龙, 赵太平, 郭光军. 2001b. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义. 岩石学报, 17: 236–244
张旗, 王元金, 金惟俊, 李承东. 2008. 晚中生代的中国东部高原: 证据、 问题和启示. 地质通报, 27: 1404–1430
张望平. 1989. 中国东部一些地区侏罗纪孢粉组合. 见: 中国地质科学院地质研究所地层组, 著. 中国东部构造-岩浆演化及成矿规律(二): 中国东部侏罗纪-白垩纪古生物及地层. 北京: 科学出版社. 1–20
张渝金, 吴新伟, 张超, 郭威, 杨雅军, 孙革. 2018. 黑龙江龙江盆地中侏罗统万宝组时代确定新证据及其地质意义. 地学前缘, 25: 182–196
张岳桥, 廖昌珍, 施炜, 张田, 郭芳芳. 2007. 论鄂尔多斯盆地及其周缘侏罗纪变形. 地学前缘, 14: 182–196
赵红格, 刘池洋, 王海然, 高少华, 李蒙, 卓鱼周, 乔建新, 张孙玄琦, 蒋盛. 2015. 鄂尔多斯盆地西北缘早-中侏罗世延安期碎屑锆石LA-ICP-MS定年及其物源意义. 地学前缘, 22: 184–193
赵应成, 魏东涛, 马志强, 闫存凤, 刘永昌, 张海泉, 李再光, 袁生虎. 2003. 中国北方侏罗系(IV)祁连地层区. 北京: 石油工业出版社. 1–239
赵越. 1990. 燕山地区中生代造山运动及构造演化. 地质论评, 36: 1–13
赵越, 崔盛芹, 郭涛, 徐刚. 2002. 北京西山侏罗纪盆地演化及其构造意义. 地质通报, 21: 211–217
赵越, 宋彪, 张拴宏, 刘健. 2006. 北京西山侏罗纪南大岭组玄武岩的继承锆石年代学及其意义. 地学前缘, 13: 184–190
赵越, 杨振宇, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展中的重要转折. 地质科学, 29: 105–128
赵越, 徐刚, 张拴宏, 杨振宇, 张岳桥, 胡健民. 2004a. 燕山运动与东亚构造体制的转变. 地学前缘, 11: 319–328
赵越, 张拴宏, 徐刚, 杨振宇, 胡健民. 2004b. 燕山板内变形带侏罗纪主要构造事件. 地质通报, 23: 854–863
郑建平, 戴宏坤. 2018. 西太平洋板片俯冲与后撤引起华北东部地幔置换并导致陆内盆-山耦合. 中国科学: 地球科学, 48: 436–456
郑亚东, Davis G A, 王琮, Darby B J, 华永刚. 1998. 内蒙古大青山大型逆冲推覆构造. 中国科学D辑: 地球科学, 28: 289–295
郑亚东, 王士政, 王玉芳. 1990. 中蒙边界区新发现的特大型推覆构造及伸展变质核杂岩. 中国科学B辑, 12: 1299–1305
中国地质科学院地质研究所. 1980a. 陕甘宁盆地中生代地层古生物(上册). 北京: 地质出版社. 212
中国地质科学院地质研究所. 1980b. 陕甘宁盆地中生代地层古生物(下册). 北京: 地质出版社. 188
朱日祥, 徐义刚, 朱光, 张宏福, 夏群科, 郑天愉. 2012. 华北克拉通破坏. 中国科学: 地球科学, 42: 1135–1159
Amiot R, Wang X, Zhou Z, Wang X, Buffetaut E, Lécuyer C, Ding Z, Fluteau F, Hibino T, Kusuhashi N, Mo J, Suteethorn V, Wang Y, Xu X, Zhang F. 2011. Oxygen isotopes of East Asian dinosaurs reveal exceptionally cold Early Cretaceous climates. Proc Natl Acad Sci USA, 108: 5179–5183
Chang S, Zhang H, Hemming S R, Mesko G T, Fang Y. 2014. $^{40}Ar/^{39}Ar$ age constraints on the Haifanggou and Lanqi formations: When did the first flowers bloom? Geol Soc Lond Spec Publ, 378: 277–284
Chang S, Zhang H, Renne P R, Fang Y. 2009. High-precision $^{40}Ar/^{39}Ar$ age constraints on the basal Lanqi Formation and its implications for the origin of angiosperm plants. Earth Planet Sci Lett, 279: 212–221

Chu Z, He H, Ramezani J, Bowring S A, Hu D, Zhang L, Zheng S, Wang X, Zhou Z, Deng C, Guo J. 2016. High-precision U-Pb geochronology of the Jurassic Yanliao Biota from Jianchang (western Liaoning Province, China): Age constraints on the rise of feathered dinosaurs and eutherian mammals. Geochem Geophys Geosyst, 17: 3983–3992

Cohen K M, Finney S C, Gibbard P L, Fan J X. 2013. The ICS international chronostratigraphic chart. Episode, 36: 199–204

Cope T C. 2003. Sedimentary Evolution of the Yanshan Fold-thrust Belt, Northeast China. Doctoral Dissertation. Stanford: Stanford University. 1–230

Cope T C, Shultz M R, Graham S A. 2007. Detrital record of Mesozoic shortening in the Yanshan belt, NE China. Testing structural interpretations with basin analysis. Basin Res, 19: 253–272

Davis G A. 2005. The Late Jurassic "Tuchengzi/Houcheng" Formation of the Yanshan fold thrust belt: An analysis. Earth Sci Front, 12: 331–345

Davis G A, Zheng Y, Wang C, Darby B J, Zhang C, Gehrels G. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China. Geol Soc Am Mem, 194: 171–197

Doludenko M P, Orlovskaya E R. 1976. Jurassic floras of the Karatau Range, Southern Kazakhstan. Palaeontology, 19: 627–640

Eberth D A, Brinkman D B, Chen P J, Yuan F T, Wu S Z, Li G, Cheng X S. 2001. Sequence stratigraphy, paleoclimate patterns, and vertebrate fossil preservation in Jurassic-Cretaceous strata of the Junggar Basin, Xinjiang Autonomous Region, People's Republic of China. Can J Earth Sci, 38: 1627–1644

Eberth D A, Xing X, Clark J M. 2010. Dinosaur death pits from the Jurassic of China. PALAIOS, 25: 112–125

Enkin R Z, Yang Z, Chen Y. 1992. Courtillot V. Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of main Chinese blocks from the Permian to the present: A review. J Geophys Res, 97: 13953–13989

Evans J W. 1941. The morphology of Tettigarcta tomentosa White (Homoptera, Cicadidae). Pap Proc Royal Soc Tasmania. 35–49

Fang Y, Wu C, Guo Z, Hou K, Dong L, Wang L, Li L. 2015. Provenance of the southern Junggar Basin in the Jurassic. Evidence from detrital zircon geochronology and depositional environments. Sediment Geol, 315: 47–63

Fang Y, Wu C, Wang Y, Wang L, Guo Z, Hu H. 2016. Stratigraphic and sedimentary characteristics of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous strata in the Junggar Basin, Central Asia. Tectonic and climate implications. J Asian Earth Sci, 129: 294–308

Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, Liu X M, Liu Y S, Xu W L, Ling W L, Ayers J, Wang X C, Wang Q H. 2004. Recycling lower continental crust in the North China craton. Nature, 432: 892–897

Gilder S, Courtillot V. 1997. Timing of the North-South China collision from new middle to late Mesozoic paleomagnetic data from the North China Block. J Geophys Res, 102: 17713–17727

Grabau A W. 1923. Cretaceous Mollusca from north China. Bull Geol Survey China, 5: 183–198

Grabau A W. 1928. Stratigraphy of China. Part 2 Mesozoic. Beijing: Geological Survey of China. 1–774

Grimaldi D, Engel M S. 2005. Evolution of the Insects. Cambridge: Cambridge University Press. 1–755

He H, Wang X, Zhou Z, Zhu R, Jin F, Wang F, Ding X, Boven A. 2004. ^{40}Ar/^{39}Ar dating of ignimbrite from Inner Mongolia, northeastern China, indicates a post-Middle Jurassic age for the overlying Daohugou Bed. Geophys Res Lett, 31: L20609

Isozaki Y. 1997. Jurassic accretion tectonics of Japan. Isl Arc, 6: 25–51

Khain V E. 1994. Geology of Northern Eurasia (Ex-USSR): Second Part of the Geology of the USSR Phanerozoic Fold Belts and Yang Platforms. Beline: Gebruder Borntraeger. 39–81

Li G, Ando H, Hasegawa H, Yamamoto M, Hasegawa T, Ohta T, Hasebe N, Ichinnorov N. 2014. Confirmation of a Middle Jurassic age for the Eedemt Fm. in Dundgobi Province, southeast Mongolia: Constraints from the discovery of new spinicaudatans (clam shrimps). Alcheringa, 38: 305–316

Li G, Matsuoka A. 2015. Searching for a non-marine Jurassic/Cretaceous boundary in northeastern China. J Geol Soc Jpn, 121: 109–122

Li M, Zhang Y, Huang C, Ogg J, Hinnov L, Wang Y, Zou Z, Li L. 2017. Astronomical tuning and magnetostratigraphy of the Upper Triassic Xujiahe Fm. of South China and Newark Supergroup of North America: Implications for the Late Triassic time scale. Earth Planet Sci Lett, 475: 207–223

Li S, Guilmette C, Ding L, Xu Q, Fu J, Yue Y. 2017a. Provenance of Mesozoic clastic rocks within the Bangong-Nujiang suture zone, central Tibet: Implications for the age of the initial Lhasa-Qiangtang collision. J Asian Earth Sci, 147: 469–484

Li S, Jahn B, Zhao S, Dai L, Li X, Suo Y, Guo L, Wang Y, Liu X, Lan H, Zhou Z, Zheng Q, Wang P. 2017b. Triassic southeastward subduction of North China Block to South China Block: Insights from new geological, geophysical and geochemical data. Earth-Sci Rev, 166: 270–285

Li Z H, Dong S W, Qu H J. 2014. Timing of the initiation of the Jurassic Yanshan movement on the North China Craton: Evidence from sedimentary cycles, heavy minerals, geochemistry, and zircon U-Pb geochronology. Int Geol Rev, 56: 288–312

Liao H, Shen Y, Huang D. 2017. Conchostracans of the Middle-Late Jurassic Daohugou and Linglongta beds in NE China. Palaeoworld,

26: 317–330

Liu G, Dong S, Chen X, Cui J. 2017. Detrital zircon U-Pb dating of Suining Fm. sandstone from the Daba Mountains, northeastern Sichuan and its stratigraphic implications. Palaeoworld, 26: 380–395

Liu J, Zhao Y, Liu X, Wang Y, Liu X. 2012. Rapid exhumation of basement rocks along the northern margin of the North China craton in the early Jurassic: Evidence from the Xiabancheng Basin, Yanshan Tectonic Belt. Basin Res, 24: 544–558

Liu S, Gurnis M, Ma P, Zhang B. 2017. Reconstruction of northeast Asian deformation integrated with western Pacific plate subduction since 200 Ma. Earth-Sci Rev, 175: 114–142

Liu X, Li Y, Yao Y, Ren D. 2016. A hairy-bodied tettigarctid (Hemiptera: Cicadoidea) from the latest Middle Jurassic of northeast China. Alcheringa-An Australasian J Palaeontol, 40: 383–389

Liu Y, Kuang H, Jiang X, Peng N, Xu H, Sun H. 2012. Timing of the earliest known feathered dinosaurs and transitional pterosaurs older than the Jehol Biota. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 323-325: 1–12

Ma Q, Xu Y, Zheng J, Griffin W L, Hong L, Ma L. 2016. Coexisting early Cretaceous high-Mg andesites and adakitic rocks in the North China Craton: The role of water in intraplate magmatism and cratonic destruction. J Petrol, 57: 1279–1308

Ma Q, Zheng J, Xu Y, Griffin W L, Zhang R. 2015. Are continental “adakites” derived from thickened or foundered lower crust? Earth Planet Sci Lett, 419: 125–133

Mahoney J J, Duncan R A, Tejada M L G, Sager W W, Bralower T J. 2005. Jurassic-Cretaceous boundary age and mid-ocean-ridge–type mantle source for Shatsky Rise. Geology, 33: 185–188

Maruyama S, Liou J G, Seno T. 1989. Mesozoic and Cenozoic evolution of Asia, with special reference to geotectonic division of East Asia. In: Ben-Avraham Z, ed. The Evolution of the Pacific Ocean Margins. Oxford: Oxford University Press. 75–99

Maruyama S, Liou J G, Seno T. 1997. Superplume, supercontinent, and post-perovskite. Mantle dynamics and anti-plate tectonics on the Core-Mantle Boundary. Gondwana Res, 11: 7–37

Niu B, He Z, Song B, Ren J, Xiao L. 2004. SHRIMP geochronology of volcanics of the Zhangjiakou and Yixian Formations, Northern Hebei Province, with a discussion on the age of the Xing’anling Group of the great Hinggan Mountains and volcanic strata of the Southeastern Coastal Area of China. Acta Geol Sin-Engl Ed, 78: 1214–1228

Ponomarenko A G, Aristov D S, Bashkuev A S, Gubin Y M, Khramov A V, Lukashevich E D, Popov Y A, Pritykina L N, Sinitsa S M, Sinitshenkova N D, Sukatsheva I D, Vassilenko D V, Yan E V. 2014. Upper Jurassic Lagerstätte Shar Teg, southwestern Mongolia. Paleontol J, 48: 1573–1682

Remane J. 2000. International stratigraphic chart, with explanatory note. Paris: Proceedings of 31st International Geological Congress. 16

Rossetti G, Martens K. 1998. Taxonomic revision of the Recent and Holocene representatives of the Family Darwinulidae (Crustacea, Ostracoda), with a description of three new genera. Bull L’Institut Roy Sci Nat Belg Biol, 68: 55–110

Sha J, Olsen P E, Pan Y, Xu D, Wang Y, Zhang X, Yao X, Vajda V. 2015. Triassic-Jurassic climate in continental high-latitude Asia was dominated by obliquity-paced variations (Junggar Basin, Ürümqi, China). Proc Natl Acad Sci USA, 112: 3624–3629

Sha J, Vajda V, Pan Y, Larsson L, Yao X, Zhang X, Wang Y, Cheng X, Jiang B, Deng S, Chen S, Peng B. 2011. Stratigraphy of the Triassic-Jurassic boundary successions of the Southern Margin of the Junggar Basin, Northwestern China. Acta Geologica Sin-Engl Ed, 85: 421–436

Sha J, Wang Y, Pan Y, Yao X, Rao X, Cai H, Zhang X. 2016. Temporal and spatial distribution patterns of the marine-brackish-water bivalve Waagenoperna in China and its implications for climate and palaeogeography through the Triassic-Jurassic transition. Palaeogeogr Palaeoclimatol PalaeoEcol, 464: 43–50

Szwedo J, Żyła D. 2009. New Fulgoridiidae genus from the Upper Jurassic Karatau deposits, Kazakhstan (Hemiptera, Fulgoromorpha, Fulgoroidea). Zootaxa, 2281: 40–52

Wei S, Tang J, Song Y, Liu Z, Feng J, Li Y. 2017. Early Cretaceous bimodal volcanism in the Duolong Cu mining district, western Tibet: Record of slab breakoff that triggered ca. 108–113 Ma magmatism in the western Qiangtang terrane. J Asian Earth Sci, 138: 588–607

Wong W. 1927. Crustal movements and igneous activities in eastern China since Mesozoic time. Bull Geol Soc China, 6: 9–37

Wong W. 1928. Tectonic studies on Beipiao area of Jehol. Geol Rep, 11: 1–23

Wong W. 1929. The Mesozoic orogenic movement in eastern China. Bull Geol Soc China, 8: 33–44

Xu H, Liu Y, Kuang H, Jiang X, Peng N. 2012. U-Pb SHRIMP age for the Tuchengzi Formation, northern China, and its implications for biotic evolution during the Jurassic-Cretaceous transition. Palaeoworld, 21: 222–234

Xu X, Wang K, Zhang K, Ma Q, Xing L, Sullivan C, Hu D, Cheng S, Wang S. 2012. A gigantic feathered dinosaur from the Lower Cretaceous of China. Nature, 484: 92–95

Yang J, Wu F, Shao J, Wilde S A, Xie L, Liu X. 2006. Constraints on the timing of uplift of the Yanshan Fold and Thrust Belt, North China. Earth Planet Sci Lett, 246: 336–352

Yang W, Jolivet M, Dupont-Nivet G, Guo Z, Zhang Z, Wu C. 2012. Source to sink relations between the Tianshan and Junggar Basin (northwest China) from Late Palaeozoic to Quaternary: Evidence fromdetrital U-Pb zircon geochronology. Basin Res, 24: 1–22

Yang W, Li S. 2008. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in Western Liaoning: Implications for lithospheric thinning of the North China Craton. Lithos, 102: 88–117

Zhang Y, Li Z, Yang W, Zhu L, Jin S, Zhou X, Tao G, Zhang K. 2017. Late Jurassic-Early Cretaceous episodic development of the Bangong Meso-Tethyan subduction: Evidence from elemental and Sr-Nd isotopic geochemistry of arc magmatic rocks, Gaize region, central Tibet, China. J Asian Earth Sci, 135: 212–242

Zhao X, Coe R S, Zhou Y, Wu H, Wang J. 1990. New paleomagnetic results from Northern China: Collision and suturing with Siberria and Kazakhstan. Tectonophysis, 184: 43–81

Zonenshain L P, Kuzmin M I, Natapov L M. 1990. Geology of the USSR: A plate-Tectonic Synthesis. Am Geophys Union Geodyn Ser, 21: 97–108

Zorin Y A. 1999. Geodynamics of the western part of the Mongolia–Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia. Tectonophysics, 306: 33–56

(责任编委: 沈树忠)